

Interpretação geográfica da classificação do uso e ocupação do solo resultante do processamento e análise de imagens de Satélite

Morna Nandaia

**Tese de Doutoramento em Geografia e Planeamento Territorial,
Especialidade em Detecção Remota e Sistemas de Informação
Geográfica.**

Versão corrigida

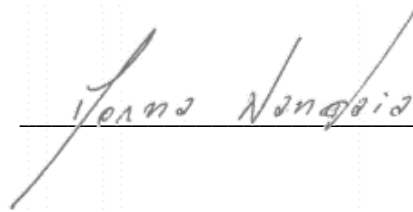
Fevereiro de 2020

Tese apresentada para o cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geografia e Planeamento Territorial, Especialidade em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob orientação Científica do Professor Doutor José António Tenedório e Coorientação do Professor Doutor Jorge Rocha.

DECLARAÇÕES

Declaro que esta Tese é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

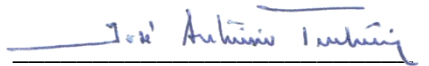
O Candidato,

A handwritten signature in black ink, reading "João Nogueira", is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

Lisboa, 10 de Fevereiro de 2020

Declaro que esta Tese se encontra em condições de ser apreciada pelo júri designado.

O Orientador

A handwritten signature in blue ink, reading "João António Taveira", is written over a horizontal line. The signature is cursive.

Lisboa, 10 de Fevereiro de 2020

Declaro que esta Tese se encontra em condições de ser apreciada pelo júri designado.

O Coorientador

A handwritten signature in blue ink, reading "Jorge Rocha", is written over a horizontal line. The signature is cursive.

Lisboa, 10 de Fevereiro de 2020

à minha família

AGRADECIMENTOS

O meu agradecimento vai em primeiro lugar ao Professor Doutor José António Tenedório, Orientador científico desta Tese, pela sua disponibilidade, pela excelência na orientação, o estímulo e confiança depositada neste estudo, sem esquecer o incentivo e críticas construtivas no que respeita a transmissão de ideias e conhecimento. Por fim, realço ainda, a liberdade de investigação e o incentivo nos momentos difíceis ao longo desta Tese.

Ao professor Doutor Jorge Rocha, pela aceitação e disponibilidade em coorientar este estudo, pelo apoio e encorajamento, pela disponibilidade, presença e partilha de ideias. Por último, realço a liberdade de investigação e o incentivo.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em particular a Doutora Engenheira Ana Fonseca e a Doutora Engenheira Dora Luz Roque, pela disponibilidade, no apoio através da disponibilização de documentos relevantes para a correcção Radiométrica dos dados em estudo e sugestão acerca de uma versão *Sentinel Application Platform (SNAP)*.

Ao professor José Manuel Rodrigues Lúcio, pela disponibilidade, incentivo e valiosas sugestões.

Ao professor Pedro Casimiro, pela generosidade, incentivo e sugestões acerca da Correção Radiométrica dos dados.

À Sara Encarnação, pela disponibilidade e partilha de experiência relativamente a classificação multitemporal em ambiente *eCognition*.

À Mirian Cardoso, pelo incentivo, disponibilidade, valiosas sugestões, companheirismo e sobretudo pela amizade.

À Ana Correia, pela tradução, incentivo, valiosas sugestões e sobretudo pela amizade.

Ao meu amigo Ricardo Silva, pela amizade, incentivo, leitura e valiosas sugestões e, sobretudo, pelo apoio inequívoco desde o início desta longa caminhada.

Aos meus amigos de longa data, Maximiano Cristiano Sá, Joaquim Fernandes, Joeldino Kypiani Mané, Ademar Fonseca, António Carlos Veiga, Naimo Kandé.

Ao Aruna Darame, Elenise Costa, Sara Cardoso e Eliane Patrícia Ferreira Correia, pela amizade, incentivo e pelo encorajamento que sempre manifestaram ao longo deste percurso.

A todos os que contribuíram para este estudo e que ainda assim não foram mencionados, que nem por isso foram esquecidos, um muito obrigado.

RESUMO

Interpretação geográfica da classificação do uso e ocupação do solo resultante do processamento e análise de imagens de Satélite

MORNA NANDAIA

PALAVRAS-CHAVE: Segmentação Multiresolução, Classificação multitemporal, Detecção Remota, Uso e Ocupação do Solo, Matriz de Confusão, Validação Temática

Nos processos de classificação de uso e ocupação do solo, a Detecção Remota tem demonstrado enormes vantagens, sobretudo, no que concerne aos processos de acompanhamento das dinâmicas territoriais e um papel determinante nos processos de planeamento territorial.

Na verdade, o desenvolvimento da tecnologia de aquisição de imagens de satélite abriu novas perspectivas e possibilidades de estudos de um dado espaço geográfico, enquanto simultaneamente permite explorar novas metodologias de extracção e análise de informação. Deste modo, a detecção remota tornou-se um “elemento” indispensável para uma melhor compreensão territorial.

O tema central desta Tese corresponde a uma investigação de base teórico-prática acerca da metodologia *Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)*, aplicada a Classificação Multitemporal e Intra-anual de dados *Sentinel-2*, para a elaboração de um mapa de uso e ocupação do solo no Município de Almada. A exploração desta temática procedeu-se em duas fases: a segmentação de imagens (com base no algoritmo *multiresolution segmentation*) e a classificação das mesmas (baseada em *GEOBIA*).

A operacionalização desta metodologia, foi alcançado através do *software eCognition*, equipado com algoritmos de segmentação multiresolução e capacidades que possibilitam a classificação de fenómenos com base no objecto, permitindo desta forma delimitar polígonos representativos das classes que se pretendia extrair.

Analizou-se o Município de Almada em quatro períodos temporais. A determinação dos polígonos que serviram de teste permitiu alcançar resultados bastante bons, sendo posteriormente submetidos a validação com dados reais obtidos através da Carta de Ocupação do Solo (COS). O processo de validação foi conseguido em ambiente do *software ArcGIS 10.5.1*, tendo sido alcançado resultados bons em termos de concordância da classificação com a verdade no terreno (Janeiro, *Global Accuracy* 0,84 Coeficiente *Kappa* 0,78; Março, *Global Accuracy* 0,86 Coeficiente *Kappa* 0,80; Julho, *Accuracy* 0,86 Coeficiente *Kappa* 0,81, Outubro, *Accuracy* 0,72 Coeficiente *Kappa* 0,63).

ABSTRACT

Geographic interpretation of land use and land classification resulting from satellite image processing and analysis

MORNA NANDAIA

KEYWORDS: Multi-Resolution Segmentation, Multitemporal Classification, Remote Sensing, Land Use / Land Cover, Confusion Matrix, Thematic Validation

Remote sensing has shown significant advantages in the processes of classification of land use and land occupation, mostly regarding the monitoring of territorial dynamic's. It also plays a fundamental role in territorial planning processes.

The development of satellite image acquisition technologies has opened up new perspectives and possibilities in the study of a specific geographic area while simultaneously allowing to explore new methodologies of information extraction and analysis. Thus, remote sensing become an essential element in better understanding of the territories.

This thesis mainly focuses on carrying out a theoretical-practical research on the Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) methodology, applied to the multitemporal and intra-annual classification of Sentinel-2 data for the development of a land use and occupation map of the county of Almada, in Portugal. Two principal aspects were included: image segmentation (based on the multiresolution segmentation algorithm) and image classification (based on GEOBIA).

The operationalization of this methodology was accomplished through the eCognition software, equipped with multiresolution segmentation algorithms and capabilities enabling the classification of phenomena based on objects, thus allowing the delimitation of polygons that represent the intended extraction classes.

The Municipality of Almada was analyzed in four time periods. The determination of the polygons that served as a test allowed to achieve quite good results, being subsequently submitted to validation with real data obtained through the Land Occupation Letter (COS). The validation process was carried out in an ArcGIS 10.5.1 software environment, with good results in terms of classification agreement with the truth in the field (January, Global Accuracy 0,84 Kappa coefficient 0,78; March, Global Accuracy 0,86 Coefficient Kappa 0,80; July, Accuracy 0,86 Kappa coefficient 0,81, October, Accuracy 0,72 Kappa coefficient 0,63).

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xix
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xxi
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	xxiii
INTRODUÇÃO.....	1
Problemática	6
Objectivos	9
CAPÍTULO I - MISSÃO SENTINEL: INICIATIVAS, DESAFIOS E NOVOS AVANÇOS NA DETECÇÃO REMOTA EUROPEIA	11
I.1. Introdução.....	13
I.1.1. Projecto <i>European Remote Sensing (ERS-1 e 2)</i>	13
I.1.2. Missão <i>Envisat (Environmental Satellite)</i>	15
I.2. Iniciativa <i>GMES</i>	18
I.2.1. Projecto <i>LinKER</i>	20
I.2.2. <i>Reference Data Access</i>	21
I.2.3. Projecto <i>Atmosphere and Maritime</i>	23
I.3. Programa <i>Copernicus</i>	27
I.4. Programa <i>Sentinel</i>	30
I.4.1. Evolução das missões e dos sensores <i>Sentinel</i>	33
I.4.2. Missão <i>Sentinel-2</i>	43
I.4.3. Especificações e características do <i>Sentinel-2</i>	44
I.4.4. Aplicações dos dados <i>Sentinel</i>	47
I.5. Projecto IPSentinel	50
I.5.1. Arquitectura IPSentinel.....	52

CAPÍTULO II -DETECÇÃO REMOTA: SINTESE DOS PRINCÍPIOS E CONCEITOS FUNDAMENTAIS	55
II.1. Introdução	57
II. 2. Abordagem Prévia.....	59
II. 2.1. Definição	59
II. 2.2. Abordagem Física da Detecção Remota.....	62
II. 3. Abordagens de Análise e Extracção de informação em Detecção Remota.....	92
II. 3.1. Abordagem <i>pixel a pixel</i>	92
II. 3.2. Abordagem Orientada ao Objecto	94
CAPÍTULO III - <i>GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (GEOBIA)</i> : UMA NOVA ABORDAGEM NA CLASSIFICAÇÃO DE DADOS OBTIDOS POR DETECÇÃO REMOTA	97
III. 1. Introdução	99
III. 1.1. Contextualização teórica	99
III. 1.2. Os Conceitos <i>OBIA</i> e <i>GEOBIA</i>	100
III. 1.3. <i>GEOBIA</i> e Segmentação de imagens	104
III. 1.4. Contextualização espacial do objecto	110
III. 1.5. As Dimensionalidades do Espaço Geográfico	112
CAPÍTULO IV - DADOS UTILIZADOS: CONTEXTUALIZAÇÃO E PRÉ- PROCESSAMENTO.....	117
IV. 1. Introdução	119
IV. 2. As Nomenclaturas de Uso e Ocupação do Solo em Detecção Remota	119
IV. 2.1. Situação Portuguesa	120
IV. 2.2. Uso do Solo.....	121
IV. 2.3. Ocupação do Solo	122
IV. 2.4. Classificação <i>a priori</i> e Classificação <i>a posteriori</i>	123
IV. 2.5. Sistemas de Classificação Hierárquica e Não Hierárquica	125
IV. 2.6. A Carta de Ocupação do Solo (COS).....	127

IV. 2.7. Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (CARTUS-AML)	130
IV. 2.8. Inventário <i>Corine Land Cover</i> (CLC)	131
IV. 2.9. Inventário Florestal Nacional (IFN)	132
IV. 3. Dados	134
IV. 3.1. Pré-processamento das Imagens	135
IV. 3.2. <i>SNAP (Sentinel Application Platform)</i>	136
IV. 4. Área de Estudo	148
CAPÍTULO V - METODOLOGIA	151
V. 1. Delimitação dos Objectos	153
V. 1.1. Procedimentos/ Técnicas de Segmentação Multiresolução	155
V. 1.2. Da parametrização à Segmentação Multiresolução	156
V. 1.3. Classificação dos Objectos em <i>eCognition</i>	171
V. 1.4. Classificação dos Objectos da Imagem	174
CAPÍTULO VI - RESULTADOS	195
VI. 1. Classificação Final	197
VI. 2. Validação Temática das Classificações e Análise das Matrizes	199
VI. 2.1. Análise dos resultados da validação da Matriz de Confusão	201
VI. 3. Resultados Finais	208
VI. 4. Crítica dos Resultados	213
CONSIDERAÇÕES FINAIS	219
BIBLIOGRAFIA	226
ANEXOS	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da Tese.....	8
Figura 2: Configuração Orbital dos dois satélites <i>Sentinel-2</i>	46
Figura 3: Arquitectura IPSentinel.....	52
Figura 4: Esquema de Sistema de Detecção Remota da aquisição de dados à produção de informação geográfica.	62
Figura 5: Onda electromagnética.....	64
Figura 6: Relação entre a energia, frequência e comprimento de onda.....	65
Figura 7: Espectro electromagnético	66
Figura 8: Propagação do Pulso de Radar e o seu retorno a sensor	69
Figura 9: Pulsos lasers e os respectivos retornos de edifício e árvores.	71
Figura 10: Processos de interacção da energia electromagnética e a matéria.	79
Figura 11: Processos de interacção da radiação electromagnética com os objectos.	81
Figura 12: Assinatura espectral do comportamento da vegetação em diferentes porções do espectro electromagnético.	84
Figura 13: Curvas de reflectância espectral da Vegetação, Solo, Água.	87
Figura 14: Resolução espacial das bandas <i>Sentinel-2</i> para diferentes aplicações.	89
Figura 15: Evolução esquemática da quantidade de Literatura resultante do advento da <i>OBIA/GEOBIA</i>	105
Figura 16: Procedimentos para a classificação automática de imagem.....	109
Figura 17: Representação esquemática das entidades e objectos geográficos.	111
Figura 18: Taxonomia das entidades <i>Bona Fide</i> e entidades <i>Fiat</i>	113
Figura 19: Classificação <i>a priori</i> e classificação <i>a posteriori</i>	123
Figura 20: Limitações das classificações <i>a priori</i> quanto a sua flexibilidade.	124
Figura 21: Relações hierárquicas entre os super objectos e os seus subobjectos.	126
Figura 22: Relações não-hierárquicas entre objectos.	127
Figura 23: Exemplo de imagem original <i>Sentinel-2</i> de 18 de Janeiro de 2017 sem correcção radiométrica.	141
Figura 24: Exemplo de imagem <i>Sentinel-2</i> de 18 de Janeiro de 2017 submetida a correcção radiométrica.	142
Figura 25: Composição Cor Verdadeira.	145
Figura 26: Composição Falsa Cor.	145
Figura 27: Área de Estudo no contexto Nacional.....	149

Figura 28: Critérios de Segmentação Multiresolução.	164
Figura 29: Diferentes Níveis de Segmentação.	167
Figura 30: Níveis de Segmentação utilizados para a classificação do uso e ocupação do solo.	170
Figura 31: Legenda da Classificação do Nível 2.	175
Figura 32: Resultados da Classificação do Nível 2 para os períodos em estudo.....	177
Figura 33: Legenda da Classificação do Nível 1 (1ª fase).....	183
Figura 34: Legenda da Classificação.....	184
Figura 35: Resultados das Subclasses da Categoria Construído.	186
Figura 36: Legenda das subclasses da Classe Não-Construído.....	189
Figura 37: Resultados das classificações das subclasses da classe Não construído.....	191
Figura 38: Legenda das Classes de uso de Solo Final.....	198
Figura 39: Resultados das Classificações Finais.	211

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Os sensores a bordo dos satélites <i>ESR-1</i> e 2.....	15
Quadro 2: Os sensores a bordo da Missão <i>Envisat</i>	17
Quadro 3: Projectos desenvolvidos no âmbito do projecto de Monitorização Global do Ambiente e Segurança (<i>GMES</i>) e os respectivos fundos.	19
Quadro 5: <i>Principais características da plataforma MetOp-SG A</i>	41
Quadro 6: Principais características técnicas do sensor <i>Sentinel-5P</i>	42
Quadro 7: Regiões espectrais.	67
Quadro 8: Tipos de Distorções.	76
Quadro 9: Definições das bandas espectrais do sensor <i>Sentinel-2</i>	90
Quadro 10: Legenda COS2015 (Territórios artificializados – máxima desagregação (Nível 5).....	129
Quadro 11: Legenda CARTUS-AML.	130
Quadro 12: Níveis hierárquicos do inventário CORINE Land Cover.....	131
Quadro 13: Temas <i>CORINE Land Cover</i>	132
Quadro 14: Imagens em Bruto para a classificação multitemporal.....	134
Quadro 15: Características Gerais da Imagem Original.....	135
Quadro 16: Característica imagem Final.	143
Quadro 17: Estatística das Bandas de Janeiro.	146
Quadro 18: Estatística das Bandas de Março.	146
Quadro 19: Estatística das Bandas de Julho.	147
Quadro 20: Estatística das Bandas de Outubro.	147
Quadro 21: Parâmetros de Segmentação em 4 níveis de detalhe.	166
Quadro 22: Parâmetros de Segmentação em 2 níveis de detalhes.....	169
Quadro 23: Diferentes tipos de funções de pertença.	173
Quadro 24: Descrição dos limites das classes do nível 2. Janeiro.....	176
Quadro 25: Descrição dos limites das classes do nível 2. Março.....	176
Quadro 26: Descrição dos limites das classes do nível 2. Julho.	176
Quadro 27: Descrição dos limites das classes do nível 2. Outubro.....	176
Quadro 28: Matriz de confusão. Janeiro.....	180
Quadro 29: Matriz de Confusão. Março.....	181
Quadro 30: Matriz de Confusão. Julho.....	182

Quadro 31: Matriz de Confusão. Outubro.	182
Quadro 32: Resultados da classificação das subclasses da classe Construído (Janeiro).	187
Quadro 33: Resultados da Classificação das subclasses da Classe Construído (Março).	187
Quadro 34: Resultados da Classificação das subclasses da Classe Construído (Julho).	188
Quadro 35: Resultados da Classificação das subclasses da Classe Construído (Outubro).	188
Quadro 36: Matriz confusão das subclasses da Classe Não construído (Janeiro).	192
Quadro 37: Matriz confusão das subclasses da classe Não construído (Março).	192
Quadro 38: Matriz confusão das subclasses da classe Não construído (Julho).	193
Quadro 39: Matriz confusão das subclasses da classe Não construído (Outubro).	193
Quadro 40: Classes de uso do solo codificados.	198
Quadro 41: Resultados Validação. Janeiro.	203
Quadro 42: Resultados Validação. Março.	203
Quadro 43: Resultados Validação. Julho.	205
Quadro 44: Resultados Validação Outubro.	206

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Eq: 1.....	65
Eq: 2.....	142
Eq: 3.....	158
Eq: 4.....	158
Eq: 5.....	159
Eq: 6.....	159
Eq: 7.....	160
Eq: 8.....	160
Eq: 9.....	161
Eq: 10.....	161
Eq: 11.....	162
Eq: 12.....	162
Eq: 13.....	163
Eq: 14.....	178
Eq: 15.....	179

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AEE	Agência Espacial Europeia
AEA	Agência Europeia do Ambiente
BOA	<i>Base of Atmosphere</i>
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CE	Comissão Europeia
CLC	<i>CORINE Land Cover</i>
COS	Carta de Ocupação do Solo de Portugal
DGT	Direcção Geral do Território
ENVISAT	<i>Environmental Satellite</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEOBIA	<i>Geographic Object-Based Image Analysis</i>
GMES	<i>Global Monitoring for Environment and Security</i>
GPT	<i>Graph Processor Tool</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
INSPIRE	<i>Infrastructure for Spatial Information in the European Community</i>
JRC	<i>Joint Research Center</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
MERSEA	<i>Marine Environment and Security for the European Area</i>
NFP	<i>National Focal Point</i>
NN	<i>Nearest Neighbor</i>
OT	Observação da Terra
RDA	<i>Reference Data Access</i>
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNN	<i>Standard Nearest Neighbor</i>
SNAP	<i>Sentinel Applications Platform</i>
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
TOA	<i>Top of Atmosphere</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
USGS	<i>United State Geological Survey</i>
UVN	<i>Ultra-Violet Visible Near-Infrared</i>
UMC	Unidade Mínima Cartográfica

INTRODUÇÃO

A necessidade de informação actualizada em períodos de tempo relativamente curtos, constitui uma temática recorrente em diversos trabalhos relacionados com a aquisição de informação espacial (geográfica) por via de Detecção Remota. Ora, isto é particularmente verdadeiro, não só no que respeita a programas de respostas a situações de emergência, como também, a recentes iniciativas e desenvolvimentos de tecnologias de informação, cujo objectivo final é responder atempadamente as actuais exigências.

Retomando a temática atrás apresentada, sublinha-se, a crescente preocupação com a disponibilização de informações ao público. Paralelamente a essa apreensão, importa também realçar o desenvolvimento verificado em processamento de imagens e os desenvolvimentos nas capacidades dos novos sensores de Detecção Remota que têm contribuído significativamente para esses avanços.

Neste sentido, a Agência Espacial Europeia (*ESA – European Space Agency*) tem apostado em iniciativas relacionadas com a informação geográfica no âmbito da Observação da Terra, tendo desde logo uma crescente envolvimento no desenvolvimento de novas iniciativas no sentido de melhorar as já existentes, tornando-as mais eficazes, alargando assim o âmbito de actuação.

Efectivamente, a melhoria da informação geográfica implica necessariamente, um recurso às capacidades dos novos sensores, sobretudo, no que respeita a capacidade de discriminação espectral dos mesmos. No caso dos sensores *Sentinel-2*, importa sublinhar que, no que concerne as capacidades de discriminação espectral, apresentam uma resolução de 13 bandas espectrais e uma resolução espacial que varia entre os 10, 20 e 60 metros, permitindo assim uma elevada capacidade de discriminação dos fenómenos, alargando deste modo, a margem de trabalho para as entidades envolvidas.

De facto, os recentes mecanismos permitiram alargar o leque de actuação das entidades envolvidas na produção, desenvolvimento e disponibilização dos dados geográficos, sobretudo, no âmbito das novas iniciativas. A par disso, resultam, a grande necessidade da disponibilização de informação geográfica actualizada não só aos decisores, como também ao público em geral.

Neste contexto, a *GMES*, iniciativa conjunta dos países da União europeia, vem desenvolvendo um conjunto de iniciativas, nomeadamente, o projecto *LinKER* (*Emergency Response*) (2008), cujo principal objectivo é alargar a proximidade entre a comunidade e os dados da iniciativa *GMES*. Concebido para auxiliar a estruturação e

desenvolvimento de uma interface que facilitasse o acesso aos dados, focando-se em cinco pontos essenciais: sensibilização; reforço das ajudas; estruturação dos casos de emergência; desenvolvimento de uma interface de acesso aos dados e instalação de um *hardware* em pontos focais.

Reference Data Access (2009), uma iniciativa de natureza geográfica centrado em dois lotes, tem por finalidade, avaliar as necessidades específicas no que respeita a referenciação dos dados através do desenvolvimento de modelo digital de elevação e modelos hidrológicos.

A Iniciativa *Atmosphere and Maritime*, onde se inserem projectos *ICEMAR* (*marine*) e *ObsAIRve* (*atmosphere*), enquadram-se numa iniciativa da união europeia, que visa tratar os dados relativos a atmosfera e o oceano, essencial para uma melhor gestão e maior sustentabilidade dos oceanos e mares, em apoio ao desenvolvimento das actividades humanas e da economia azul. Já no que respeita à observação da Terra, destaque para o programa *Copernicus* e os contributos alcançados pelo conjunto dos sensores que constituem a família sentinel.

Os progressos alcançados em matéria de observação da Terra representam um ganho extraordinário para a *ESA* e os estados membros, com provas dadas nessa matéria (subentenda-se a cada entrada em órbita dos satélites *Sentinel*). Neste sentido, sublinha-se o uso de dados produzidos pelos sensores *Sentinel*, que têm aumentado consideravelmente, (levando a criação de pontos de armazenamento dentro dos países membros), facto que é acompanhado pelos novos avanços não só em *softwares*, como também em metodologias de análise dos dados produzidos.

Atendendo aos avanços alcançados (tanto na algoritmia, como também nos softwares e metodologias de extracção de informação), neste estudo, optou-se pela utilização de dados *Sentinel-2* para efeitos de classificação do uso e ocupação do solo resultante do processamento e análise de imagem, num período multitemporal, intra-anual.

A par destes avanços, no presente estudo, utilizou-se a metodologia *Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)*, que tem por particularidade, a extracção não só das características espectrais dos objectos, mas também as características contextuais. A aplicação desta metodologia deveu-se num primeiro momento ao objectivo inicial deste estudo, que consiste na classificação de imagem baseada em objecto. Num segundo

momento, a sua utilização, deveu-se sobretudo a capacidade em considerar não apenas a informação espectral dos objectos, mas também a informação contextual dos mesmos, aproximando-se da cognição humana.

Em contexto académico, a aplicação de *GEOBIA* tem sido sustentado por diversas razões, nomeadamente, o vazio que se tem verificado com a aplicação da metodologia clássica baseada nos valores do *pixel* (de facto, o avanço das técnicas de reconhecimento baseado em objecto permitiu novas formas de efectuar a análise de informações para vários sensores) e o desenvolvimento de “ferramentas” que suportem a forte expansão desta metodologia, como é disso exemplo, o *software eCognition*. De facto, a partir do ano 2000, tem-se verificado uma considerável expansão deste *software* cuja particularidade é segmentar a imagem em objectos com representatividade significativa, numa lógica multidimensional, hierárquica e de relações espaciais.

Retomando os argumentos acima, é de referir que a sustentação dos métodos baseados em *GEOBIA* é claramente visível em numerosas publicações que têm sido efectuadas sobre esta temática. Neste contexto, Blaschke, (2010), compara o desempenho das duas abordagens de classificação (*pixel a pixel* e baseada no objecto), de forma a perceber as vantagens da nova metodologia.

O paradigma de análise de imagem baseada em objecto, tem-se centrado sobretudo na descrição de aspectos que possibilitam melhor compreensão da complexidade e da dinâmica espacial, de forma a retirar maior percepção e conhecimento.

Assim, Lang (2008:5) refere que, “proporcionar métodos automáticos e adequados para a análise de imagens de muito alta resolução espacial, usando as características espectrais, texturais, espaciais e topológicas”, constitui o principal propósito desta metodologia de extracção de informação no contexto de Detecção Remota.

As vantagens da metodologia *GEOBIA*, têm sido apresentadas através de diversas publicações e também através de novos *softwares* com algoritmos que têm contribuído para maior expansão desta metodologia. Posto isto, pretende-se com este estudo, efectuar a representação espacial de uso e ocupação do solo sob o município de Almada com base na aplicação de *GEOBIA* e posteriormente, efectuar uma comparação com os métodos decorrentes de análise visual de Imagem.

De uma forma geral, espera-se com este estudo, obter um mapa final de uso e ocupação do solo que resulte da conjugação dos contributos das classificações efectuadas sob as quatro épocas intra-anuais.

Problemática

A classificação do uso e ocupação do solo em meios urbanos, utilizando a análise de imagem baseada em objecto (*Geographic Object-Based Image Analysis - GEOBIA*), tem sido pouco explorado e constitui um novo paradigma em Detecção Remota. Este facto é já reconhecido por vários investigadores neste domínio, e tem sido utilizado para diferentes fins.

Sendo uma metodologia relativamente recente, constitui uma temática em grande expansão, devido essencialmente, as suas vantagens comparativamente a metodologia clássica baseada na caracterização dos valores espectrais dos *pixels*. Inicia-se com o processo de segmentação de imagens que tem incorporado as relações hierárquicas e não-hierárquicas, de forma a produzir diferentes níveis de análise e criar as relações entre os diferentes segmentos (objectos – unidade mínima de análise), através do factor escala.

A classificação do uso e ocupação do solo com base em *GEOBIA* representa uma mais-valia, isto porque, nos processos de classificação de informação geográfica por via de Detecção Remota, constitui uma forma robusta e eficaz na recolha de informação e tem permitido uma maior abertura e preferência desta metodologia, em detrimento da classificação baseada tão só nos valores espectrais dos *píxeis* da imagem.

Por esta razão, muitos autores têm utilizado e apresentado estudos e diferentes abordagens com base em *GEOBIA*. De facto, esta metodologia permite uma melhor classificação do uso e ocupação do solo, melhor percepção das relações entre os objectos e maior robustez nos resultados, possibilitando desta forma, resultados significativos próximos da cognição humana, constituindo assim, uma metodologia eficaz em matéria de classificação dos fenómenos, dando também um novo contributo para a justificação da escolha da metodologia.

Com base nas consultas bibliográficas, constatou-se uma significativa tendência para a aplicação desta metodologia em detrimento da clássica. Na verdade, *GEOBIA* tem assumido particular relevância, possibilitando uma análise que leva em consideração aspectos relacionados com o contexto, forma, tamanho, cor, escala, textura, etc.

O conceito de *GEOBIA*, ganhou interesse com a comunidade *GIScience*, sobretudo, com o advento do *software (eCognition)* comercial para a análise de imagens baseada em objectos no ano 2000. Desde esse período, tem-se assistido um aumento do número de estudos resultantes da aplicação de *GEOBIA*.

Blaschke (2010) num estudo sobre análise de imagens baseada em objectos apresenta os avanços alcançados com o desenvolvimento de *GEOBIA*, demonstrando não só as suas vantagens face a metodologia *pixel a pixel*, como também, a relação entre o número de publicações e o desenvolvimento de *GEOBIA*.

De facto, observa-se uma tendência de crescimento e recorrentes publicações decorrentes deste novo paradigma, em detrimento da classificação baseada na análise das características espectrais dos *pixels*.

Wiggers *et. al*, (2014) aplicaram a metodologia *GEOBIA* numa imagem *Rapideye* ortorrectificada, para a bacia do rio Pitangui no município de ponta Grossa no estado do Paraná. Com este estudo, os autores conseguiram criar a partir da metodologia *GEOBIA*, vectores correspondentes a cada objecto classificado na imagem.

De facto, no meio académico é reconhecida as vantagens de *GEOBIA* face à análise *pixel a pixel*, no que respeita aos resultados da extracção de informação. Contudo, apesar das vantagens resultantes da *GEOBIA* e reconhecidas as preocupações em torno da reduzida robustez¹ da análise *pixel a pixel* sobretudo, na ligação entre as características espectrais e contextuais como é apontada nas várias consultas bibliográficas, ainda assim, é necessário levar em consideração que as duas metodologias podem complementar-se.

Apesar das potencialidades da metodologia *GEOBIA*, ainda assim, entendemos necessária, colocar algumas questões fundamentais, que possam remeter para as desvantagens dessa metodologia. Neste sentido, partindo desse facto, as questões que entendemos pertinente, centram-se com o seguinte:

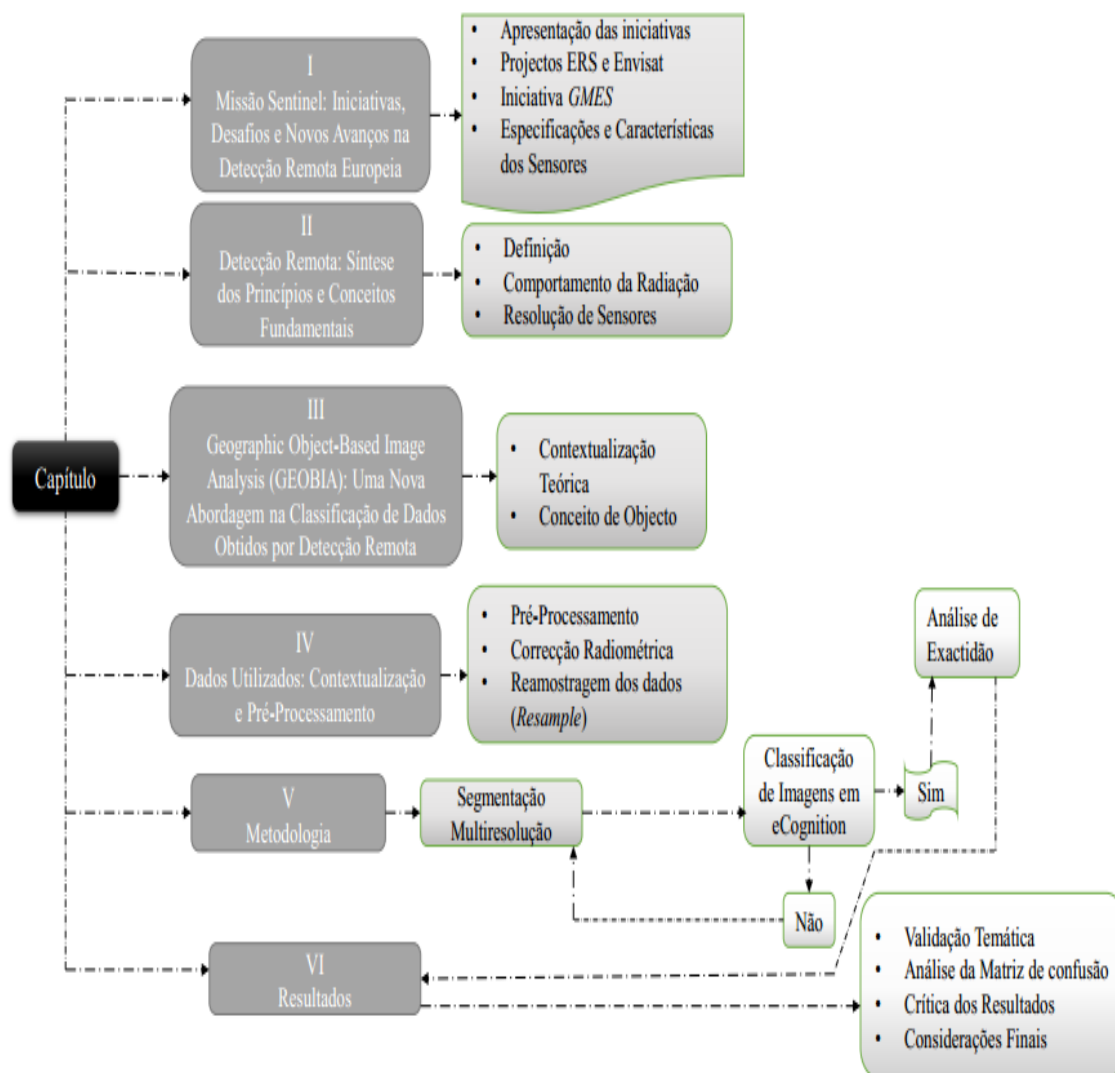
i) Que critérios devem ser utilizados para a determinação dos limites das fronteiras entre objectos?

ii) Até que ponto um objecto na imagem é representativo de um objecto no espaço geográfico?

¹ Um *pixel* não representa de todo um objecto geográfico em toda a sua dimensão

Posto isto, a presente Tese de Doutoramento está estruturada em seis capítulos (ver figura 1).

Figura 1: Estrutura da Tese



No primeiro capítulo é centrado sobretudo, nos primeiros passos do programa espacial europeu, até aos novos avanços alcançados pela ESA.

No segundo capítulo, é abordado o conceito de Detecção Remota, os princípios da radiação electromagnética, interacção da radiação com a matéria e os diferentes tipos de distorções resultantes da interacção da radiação com a atmosfera e a superfície terrestre.

Por sua vez, o terceiro capítulo introduz o conceito *Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)*. Neste capítulo é abordado o conceito de *OBIA* e *GEOBIA*, a noção de limites (fronteiras) entre objectos, a contextualização espacial do objecto, a

dimensionalidade do Espaço Geográfico. O quarto capítulo é reservado aos dados utilizados para este estudo, na verdade, neste capítulo é dado mais ênfase ao tratamento dos mesmos desde o pré-processamento, correcção radiométrica, entre outros aspectos relevantes.

Relativamente ao quinto capítulo, é apresentada a metodologia *GEOBIA*, este capítulo centra-se essencialmente na exploração da metodologia atrás referida através da segmentação multiresolução seguida da classificação do uso e ocupação do solo. Por o último, o sexto capítulo é reservado para a discussão dos resultados em torno do desempenho e aplicação da metodologia de classificação de imagem baseada em objecto.

Objectivos

Recentemente, estudos baseados em *GEOBIA*, têm sido frequentes, sobretudo, após o advento de *softwares* com capacidades em responder de forma célere às questões relacionadas com a partição de imagens de satélite em segmentos ou classes de interesse a diferentes escalas, numa lógica hierárquica que contempla as relações espaciais. Com este método, a unidade mínima de análise é representada pelo objecto, sobre o qual, todo o processo de segmentação e classificação é efectuado, de acordo com um determinado grau de homogeneidade.

As vantagens desta metodologia, têm sido apresentadas através de diversas publicações e também através de novos *softwares* com algoritmos que têm contribuído para maior expansão desta metodologia. Com este estudo, pretende-se contribuir com recurso a aplicação do *software eCognition* e algoritmo de segmentação multiresolução (*multiresolution segmentation*), na classificação de uso e ocupação do solo sob o município de Almada e posteriormente comparar os resultados decorrentes da aplicação de métodos baseados em *GEOBIA* com decorrentes de análise visual de imagem, de forma a determinar a exactidão temática e o erro associado.

A rápida expansão de *GEOBIA* constitui uma das vantagens deste método. Contudo, é de sublinhar que, tal vantagem tem sido incrementada em parte pelo advento do *eCognition* que possibilitou a introdução de novas capacidades em termos de segmentação e classificação de imagens numa escala multidimensional (relações hierárquicas).

Após esta breve contextualização, é de sublinhar que o presente estudo tem como principal propósito, a utilização de imagens *Sentinel-2* e aplicação de metodologias baseadas em *Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)*, para melhor caracterizar os objectos, num espaço geográfico multidimensional.

Pretende-se, assim, explorar uma abordagem metodológica para a extracção de informação que permita avaliar as características dos objectos, levando em consideração os aspectos relacionados com o contexto espacial, temporal e espectral, dando deste modo, especial atenção as relações não só “intra objecto” como também contextual ou “inter objecto”.

De uma forma geral, pretende-se avaliar as vantagens e limitações do método baseado em *GEOBIA*, resultantes da sua aplicação em função das classes extraídas a partir da classificação multitemporal de dados *Sentinel-2* em áreas suburbanas. Assim sendo, os objectivos deste trabalho, podem ser agrupados em dois grupos fundamentais:

Objectivos gerais: que consistem na exploração da metodologia *GEOBIA* usando dados *Sentinel-2* para a classificação do uso e ocupação do solo, mantendo o mesmo protocolo nas quatro datas em análise (Janeiro, Março, Julho e Outubro).

Objectivos específicos: articulam-se em quatro pontos fundamentais:

- Aplicar;
- Comparar;
- Avaliar;
- Validar.

Assim sendo, com este estudo, pretende-se aplicar os métodos baseados em *GEOBIA* para classificar o uso e ocupação do solo em áreas suburbanas a partir de dados multitemporais e intra-anuais de imagens *Sentinel-2*;

Pretende-se ainda, comparar os polígonos de ocupação do solo extraídos semi-automaticamente do ponto de vista da exactidão relativamente aos polígonos extraídos nos restantes períodos em análise; avaliar o desempenho da metodologia *GEOBIA* na melhoria dos níveis de exactidão temática das classificações.

Numa fase avançada, propõe-se validar os resultados da aplicação de *GEOBIA* confrontando-os com a Carta de Ocupação do Solo (COS2015) de forma a determinar a exactidão temática das classes extraídas.

**CAPÍTULO I - MISSÃO SENTINEL:
INICIATIVAS, DESAFIOS E NOVOS
AVANÇOS NA DETECÇÃO REMOTA
EUROPEIA**

I.1. Introdução

Os recentes avanços alcançados em matéria de exploração espacial são em grande medida, o resultado de uma longa caminhada, contribuição e iniciativas desenvolvidas pela Agência Espacial Europeia (*ESA-European Space Agency*). De facto, a Europa conta com uma longa caminhada no que concerne a política de observação da Terra. Comprova-se este facto, com base nos diferentes programas que têm vindo a ser desenvolvidos ao longo de décadas.

Uma das razões que contribuiu para a aposta europeia em matéria de observação da Terra, reside sobretudo, na combinação de dois factores fundamentais, por um lado, o incremento das capacidades digitais, ou seja, o aumento da capacitação dos intérpretes em matérias relacionadas com os dados digitais, por outro, a crescente evolução dos satélites de observação da Terra (sobretudo os satélites passivos), ao longo de várias décadas.

Ora, isto é particularmente interessante, dado que, a evolução europeia em matéria de exploração de dados digitais resultante dos programas de Detecção Remota, já conta com um longo período de experiência. Assim, numa perspectiva evolutiva, entendemos ser absolutamente necessário uma breve retrospectiva sobre o programa europeu de observação da Terra, de forma a perceber os avanços alcançados. Assim sendo de seguida, apresenta-se de forma não muito aprofundada, embora, necessária, um “historial” dos programas europeu de observação da Terra desde o lançamento do primeiro sensor *ERS-1 (European Remote Sensing-1)*.

I.1.1. Projecto *European Remote Sensing (ERS-1 e 2)*.

A participação da União Europeia em matérias de observação da Terra, tem dado um forte contributo não apenas para a evolução, como também, para a consolidação desta nova metodologia. O programa europeu de exploração espacial, já conta com quase três décadas, o que de ponto de vista do seu contributo, tem sido notável, dado que nesse curto período levado ao cabo pela *ESA*, desde o programa *ERS* até as missões *Sentinel*, conseguiu-se um feito notável, não apenas na qualidade dos dados, como também na capacitação dos técnicos e divulgação dos dados espaciais.

Antes de alguma referência a qualquer programa de observação da Terra, sublinha-se que, o primeiro programa europeu de Detecção Remota iniciou-se com os

projectos *ERS-1 e 2*. Estes dois projectos tinham como objectivo principal, os estudos oceânicos, superfície terrestre, observação do gelo polar entre outras áreas.

Devem distinguir-se aqui dois projectos *ERS* que tiveram início em 17 de Julho de 1991 a 10 de Março de 2000 (*ERS-1*) e 21 de Abril de 1995 a 5 de Setembro de 2011 (*ERS-2*), e que constituem indubitavelmente o arranque das missões de observação da Terra por parte da União Europeia, a cargo da *ESA*.

Outro marco importante relacionado com o projecto *ERS* reside no facto deste ser um dos grandes impulsionadores do desenvolvimento e consolidação de sensores activos.

Relativamente à órbita dos satélites, é de sublinhar que, ambos os satélites *ERS-1 e 2* efectuavam uma órbita heliossíncrona com uma inclinação de 98,5° e uma altitude nominal de 785 km. No que respeita à missão e desempenho dos sensores, sublinha-se o facto de o programa *ERS* ter tido como principal tarefa a monitorização de diversas áreas, desde a superfície terrestre, superfície do oceano, com a finalidade de detectar mudanças, passando também pela observação do gelo polar, geologia, estudos batimétricos, atmosfera, meteorologia, floresta entre outras.

No que se refere, a composição e os instrumentos dos sensores, os sensores *ERS-1 e 2* estavam equipados com vários instrumentos (sensores) de medições, tal como se encontrem exemplificado no quadro 1.

Apesar de todos os instrumentos a bordo, ainda assim é importante sublinhar que ambos os sensores se encontravam equipados com três instrumentos de grande importância (*AMI*, *RA* e *ATSR*). A quantidade dos instrumentos a bordo possibilitou uma maior abertura a diferentes áreas de estudo. Ainda em relação ao quadro anterior, torna-se importante destacar o facto do instrumento *GOME* (Global Ozone Monitoring Experiment), só ter ficado operacional após o lançamento do satélite *ERS-2*.

De facto, a contribuição dada pelo projecto *ERS-1 e 2*, é expressivo sobretudo, nas iniciativas por este desenvolvidas, nomeadamente a *GMES* (*Global Monitoring for Environment and Security*) e sem esquecer a forte aposta em projectos de observação de Terra onde se destaca o programa *Envisat* e posteriormente o programa *Copernicus*, com enfoque no espaço marítimo, a qualidade do ar e espaços urbanos.

Quadro 1: Os sensores a bordo dos satélites *ERS-1 e 2*.

<i>Sensores a Bordo</i>		
<i>AMI – Active Microwave Instrument</i>	Instrumento de Microondas activo	Consistia num radar de abertura sintético e um difusor de vento (ambos na Banda C)
<i>RA – Radar Altimeter</i>	Altímetro de Radar	Permite medições precisas da distância da superfície do oceano e das alturas das ondas
<i>ATSR - Along-Track Scanning Radiometer</i>	Radiômetro de Varredura Alongado	Operado nos intervalos infravermelho e visível. Temperaturas da superfície do mar medidas e a cobertura da Vegetação das superfícies terrestres
<i>GOME - Global Ozone Monitoring Experiment</i>	Experiência Global de Monitorização do Ozono	Espectrômetro de absorção que mede a presença de Ozono, gases e aerossóis na estratosfera e troposfera.
<i>MS – Microwave Sounder</i>	Sonda de Microondas	Fornece dados acerca da humidade atmosférica
<i>PRARE – Precise Range and Range-Rate Equipment</i>	Equipamento de alcance preciso e faixa de alcance	Determina a órbita e trajectória no <i>ERS</i> .
<i>LRR – Laser Retro-Reflector</i>	Laser Retro-Reflector	Determina posição de Satélite utilizando estações de laser terrestres.

Adaptado de *European Space Agency - ESA*

A abertura da observação da Terra pela Agência Espacial Europeia, por intermédio dos projectos *ERS-1 e 2*, serviu como um ponto de partida para posteriores missões de observação e exploração de dados espaciais, nomeadamente a missão *Envisat*.

I.1.2. Missão *Envisat* (*Environmental Satellite*)

Como foi referido, posteriormente aos programas *European Remote Sensing (ERS-1 e 2)*, seguiu-se a missão *Envisat*. Lançado em 1 de Março de 2002 no seguimento da missão “*Polar Platform for Future Earth*”, corresponde a maior satélite de observação da Terra de fabrico europeu até então, lançado pela *ESA*. Equipado com 10 instrumentos de medições e análises, com elevado grau de exactidão. Tinha como objectivo principal, dotar aos estados membros de capacidades acrescidas em matéria de observação da Terra,

com a finalidade de aumentarem as suas competências no que respeita a matérias tão sensíveis como a monitorização da Terra e as alterações climáticas.

A Missão *Envisat* contribuiu significativamente em diferentes temáticas de investigação. Neste sentido, deparar com uma área que não tenha sido matéria de estudo por *Envisat*, encontra *a priori*, imensas dificuldades, visto que, contribuiu em grande parte das áreas relacionadas com a observação da Terra, sem esquecer as missões de observação do oceano e o gelo polar, de forma a incrementar não só o conhecimento nessa matéria, como também, para a possibilitar uma resposta mais adequada em situações de emergência.

Em linhas gerais, tendo em consideração os objectivos da missão, salienta-se que, *Envisat* desempenhou um papel fundamental no estudo das características e condições ambientais, dando, deste modo, um contributo importante em matérias tão sensíveis como é disso exemplo, a química atmosférica e os estudos não só das condições oceânicas, como também da biologia marinha.

Além dos objectivos atrás mencionados, a missão contava com dois objectivos secundários, centrados essencialmente em monitorização e controlo efectivo dos recursos obtidos e a melhoria na compreensão dos processos que envolvem a observação terrestre. De ponto de vista funcional, este satélite operava a uma altitude de 800 km, numa órbita sincronizada com o sol, possuindo uma resolução temporal de 35 dias. Relativamente aos instrumentos a bordo, no quadro 2, encontram-se representados todos os sensores e as especificações técnicas de cada um.

De certo modo, face ao descrito no quadro anterior, conclui-se, que a missão *Envisat* representava uma ambiciosa missão, que retractava grande parte das temáticas relacionadas com a observação da Terra, desde os oceanos, passando por atmosfera e o gelo polar. Facto visível através do número de sensores que transportava.

Quadro 2: Os sensores a bordo da Missão Envisat.

Sensores a Bordo		
AATSR (<i>Advanced Along-Track Scanning Radiometer</i>)	Radiómetro de varredura avançado ao longo da faixa	Com um peso total de 108 kg, o objectivo deste sensor é estabelecer a continuidade dos dados <i>ATSR-1 e 2</i> , proporcionando dados climáticos de qualidade
ASAR (<i>Advanced Synthetic Aperture Radar</i>)	Radar avançado de abertura sintético	Este sensor pretende dar continuidade ao modo de imagem <i>SAR</i> e ao modo de onda <i>AMI</i> do <i>ERS-1 e 2</i> . Pesa 817 kg.
DORIS (<i>Doppler Orbitography and Radio-Positioning Integrated by Satellite</i>)	Orbitografia Doppler e Posicionamento de Rádio Integrado por Satélite	Com um peso de 85 kg, este instrumento, corresponde a um sistema que pode ser utilizado para determinar a localização do <i>Envisat</i> .
GOMOS (<i>Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars</i>)	Monitoramento Global do Ozono por Ocultação de Estrelas	Este instrumento mede os constituintes atmosféricos através da análise espectral das bandas espectrais, tem um peso de 164 kg.
LRR (<i>Laser Retro Reflector</i>)	Reflector Retro de Laser	Totalmente passivo, geralmente, este instrumento, é usado como um reflector por estações, usando lasers de alta potência. Pesa 2 kg.
MERIS (<i>Medium-Resolution Visible and Near-IR Spectrometer</i>)	Espectrómetro Visível Médio e Próximo de IV de Média Resolução	Corresponde a um espectrómetro de imagens de resolução programável. Tem um peso de 209 kg.
MIPAS (<i>Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding</i>)	Interferómetro de Michelson para sondagem atmosférica passiva	Este instrumento opera no infravermelho próximo ao médio, e serve para medição de espectros de emissão gasosa de alta resolução. Pesa 327 kg
MWR (<i>Microwave Radiometer</i>)	Radiómetro de Microondas	A principal função deste instrumento, é medir a coluna de vapor de água atmosférico integrado e do conteúdo de água líquida em nuvem, como termos de correcção para o sinal do altímetro do radar. Pesa 24 kg.
RA-2 (<i>Radar Altimeter 2</i>)	Altímetro Radar 2	É um instrumento de alta precisão, para determinar o atraso bidirecional do eco do radar da superfície terrestre, tem um peso de 110 kg.
SCIAMACHY (<i>Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography</i>)	Espectrómetro de Absorção de Imagem por Digitalização para Cartografia Atmosférica	A principal tarefa deste instrumento é, efectuar medições de gases presentes na troposfera e na estratosfera. Tem um peso de 201 kg.

Fonte: European Space Agency - ESA

Todavia, apesar dos benefícios que a missão proporcionou relativamente a observação da Terra, em 8 de Abril de 2012, é de sublinhar que teve uma avaria que condicionou os sistemas de comunicação com a base (centro de comando), dando assim

início a fim daquela que foi a mais ambiciosa missão de observação da Terra ao cargo da Agência Espacial Europeia posteriormente aos programas *ERS-1 e 2*.

De ponto de vista do seu contributo, enquanto noção fundamental a reter, destaca-se o facto da missão *Envisat* ter deixado um legado indiscutível na continuidade das missões relacionadas com a observação da Terra. Na verdade, teve um contributo essencial para missões futuras, no sentido em que abriu novas perspectivas às missões de observação planetária europeia, iniciada pela *ESA* ainda com os programas *ERS-1 e 2*. De facto, *Envisat* teve um contributo fundamental no desenvolvimento de sensores activos, como é disso exemplo, sensor *SAR*, sem esquecer o enorme contributo em estudos atmosféricos entre outras áreas de estudo.

Neste contexto, é de sublinhar que, as múltiplas experiências adquiridas pela *ESA* ao longo dos dez anos da missão *Envisat*, não só abriu novas perspectivas para estudos ambientais e uso e ocupação do solo, como também permitiu o desenvolvimento de novos sensores de Detecção Remota com capacidades acrescidas em diversas áreas.

De facto, foram muitas as contribuições da *Envisat*. Na verdade, foi a partir desta plataforma que a *ESA* encontrou um ponto de partida para novas missões de observação da Terra, através do programa *GMES* e posteriormente o programa *Copernicus*.

Assim sendo, relativamente à observação da Terra, pode-se afirmar que o *Envisat* deixou um legado fundamental para novas missões iniciadas com o programa *Copernicus* que trouxe uma “vasta família” de satélites, designados por *Sentinel*, com novas capacidades e novos instrumentos, sobretudo, com uma elevada resolução espacial e temporal. De facto, em matéria de observação da Terra, a *ESA* tem apostado em novos equipamentos com melhores capacidades de cobertura, transmissão e análise.

I.2. Iniciativa *GMES*

Com base no que foi referido no ponto anterior, o essencial a reter é, a existência de diversas áreas de actuação da Agência Espacial Europeia (*ESA*) no âmbito da iniciativa *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)*. Posto isto, iniciaremos este ponto com a definição da iniciativa *GMES* de forma a enquadrá-la nos projectos levados a cabo pela *ESA*.

A *GMES* pode ser entendida como uma parceria conjunta desenvolvida pela Comissão Europeia, a Agência Espacial Europeia² e a Agência Europeia do Ambiente, cujo principal objectivo é fornecer informação precisa, atempada e de fácil acesso com o intuito de não só melhorar a gestão do meio ambiente, como também, compreender e mitigar os efeitos das alterações diversas e garantir a segurança dos estados membros através de uma resposta célere e eficiente às diferentes situações que coloquem em risco os cidadãos.

Tal parceria conduziu a criação de vários projectos ligados a protecção e respostas em caso de emergência. Assim sendo, a abordagem seguida neste capítulo, inicia-se com a apresentação de diferentes projectos (ver quadro 3) resultantes da iniciativa *GMES*, com o intuito de perceber as dinâmicas de cada projecto, nomeadamente:

- i. - *LinKER (Emergency Response)* (2008);
- ii. - *Reference Data Access* (2009);
- iii. - *The ICEMAR (marine) and ObsAIRve (atmosphere) projects*.

Quadro 3: Projectos desenvolvidos no âmbito do projecto de Monitorização Global do Ambiente e Segurança (*GMES*) e os respectivos fundos.

<i>Projecto</i>	<i>Prazo de Execução</i>	Ligações com outros elementos do programa GMES (por exemplo, os serviços precursores do GMES, específicos no âmbito das operações iniciais)	Financiamento (Euro)
<i>2008 – LinKER (Resposta à Emergência)</i>	3 anos – 16/12/08 – 13/03/12 (originalmente foi projectado para terminar em 31/12/11)	LinKER foi projectado para promover a captação dos produtos de dados produzidos através do projecto <i>SAFER</i> (FP7). <i>SAFER</i> terminou em 31/03/12	2,823 milhões
<i>2009 – Reference Data Access (Lot 1 – EU27, Lot 2 – 3rd Countries)</i>	3 anos - os lotes 1 e 2 vão de Dezembro de 2009 a Dezembro de 2012	Os lotes 1 e 2 da <i>RDA</i> apoiarão a implementação tanto da <i>Terra Geo</i> como do serviço de Mapeamento <i>EMS</i> no âmbito das operações iniciais <i>GMES</i> 2011-13	2,08 milhões

² ESA, na designação inglesa.

<p>2010 – the <i>ICEMAR</i> (marine) and <i>ObsAIRve</i> (atmosphere) projects</p>	<p>3 anos – <i>Icemar</i> Dezembro de 2010 a Dezembro de 2013.</p> <p>3 anos – <i>obsAIRve</i> Dezembro de 2010 a Dezembro de 2013.</p>	<p>Os dois projectos não estão directamente relacionados com outros instrumentos de financiamento do <i>GMES</i>, mas fornecem uma plataforma de testes para demonstrar como os dados do <i>GMES</i> têm potencial para estimular o desenvolvimento de serviços a jusante.</p>	<p>2,095 milhões – <i>ICEMAR</i></p> <p>1,975 milhões <i>ObsAIRve</i></p>
--	---	--	---

Adaptado de *Centre for Strategy & Evaluation Sevices* (2012:5)

I.2.1. Projecto *LinKER*

É uma iniciativa que resultou da necessidade de promover uma maior proximidade entre a comunidade e os dados resultantes da iniciativa *GMES*. Foi concebido para auxiliar a estruturação e desenvolvimento de uma interface técnica que facilitasse o acesso aos dados promovendo assim o interesse dos utilizadores.

Em funcionamento a partir de Dezembro de 2008, previa-se que durasse até Dezembro de 2011, limite prolongado para Março de 2012, de forma a garantir a continuidade do serviço com o *EMS-Mapping* no modo *rush*. Com uma despesa de 2 823 mil milhões, tem como principal finalidade, apoiar o desenvolvimento de: “i) uma interface com o usuário no campo da resposta de emergência; e ii) a utilização operacional dos produtos *GMES ERS* em todos os países da União Europeia no domínio da protecção civil (Estados Membros da UE27, países do *EEE* e Croácia) e nas *DG RELEX* e *ECHO* e na Comissão Europeia” (*Center for strategy and evaluation services*, 2012:7).

Durante a fase inicial deste projecto, verificou-se uma preocupação, sobretudo, na identificação da organização mais indicada a servir do Ponto Focal Nacional do utilizador (*NFP*)³. Este mecanismo permite um acesso directo a produtos *GMES*, possibilitando assim que em cada estado membro, seja possível, coordenar e gerir as directrizes de gestão de emergências. O grande foco do projecto *LinKER* centra-se nos cinco pontos essenciais que passaremos a indicar:

- i. “Sensibilização e formação entre as agências de protecção civil, sobre como aceder os dados *GMES* e as suas potenciais utilizações;
- ii. Reforçar as ajudas em situações de desastre, promovendo a cooperação de forma a responder a situações de crise;

³ Da sigla inglesa *NFP Nacional Focal Point*

- iii. Estruturação dos casos de emergência por parte dos usuários dentro da União Europeia;
- iv. Desenvolvimento de uma interface que permita aceder aos dados, nomeadamente, *Web-Based, GMES, ERS, Toolbox* etc;
- v. Instalação de *Hardware* em pontos focais nacionais” *Center for strategy and evaluation services* (2012:12).

No que concerne ao estabelecimento das redes de pontos focais nacionais, o projecto *LinKER* possibilitou uma mais-valia, no sentido em que, permitiu uma forte e efectiva coordenação entre os diferentes *stakeholders* e as agências de protecção civil e organizações de resposta a emergência. Um outro aspecto a enfatizar no que respeita a este projecto, prende-se com as bases estabelecidas para um serviço *GMES* totalmente operacional através da *GIO EMS-Mapping Service*.

No referente as contribuições para a iniciativa *GMES*, sublinha-se que, este projecto desempenhou um papel de grande relevância, cujo contributo foi crucial para o novo mapa da iniciativa *GMES*, cujo sucesso, foi em grande parte alcançado através da do projecto *LinKER*.

Em termos gerais, no referente a contribuições, importa referir que, estas manifestam-se essencialmente na estruturação de uma base sólida que permita um acesso aos dados disponibilizados pela iniciativa *GMES* a todos os estados membros.

1.2.2. Reference Data Access

O interesse pela informação geográfica tem vindo a ganhar relevância em grandes projectos, que visam sobretudo, reflectir acerca das alterações climáticas, a ocupação do solo, fenómenos atmosféricos e a segurança dos estados membros. Neste contexto, surge a *Reference Data Access (RDA)*.

Uma iniciativa de índole geográfico centrada em dois lotes, cuja principal função é desenvolver uma estrutura de base geográfica a nível dos estados membros. De facto, o desenvolvimento de dados a nível europeu é de extrema importância, sobretudo, no que respeita a monitorização dos fenómenos supramencionados. A *RDA* corresponde a um projecto centrado no desenvolvimento de dois conjuntos de dados a nível dos estados membros:

- i. - Desenvolvimento do Modelo Digital de Elevação⁴ e Camada de dados Hidrológicos (Lote 1);
- ii. - Centrado essencialmente na análise dos resultados do Lote 1 (Lote 2).

Em termos de importância, este projecto é de extrema relevância para a iniciativa *GMES*, tendo permitido um grande desenvolvimento dos estados a nível da referência dos dados relacionados com os mecanismos de emergência. Contou com um investimento de 2,08 mil milhões, e um período de implementação de 3 anos (Dezembro de 2009-Dezembro de 2012).

Em termos gerais, a finalidade deste projecto era, auxiliar as necessidades específicas no que respeita a referência dos dados através do desenvolvimento do Modelo Digital de Elevação e o Modelo Hidrológico.

O contributo de um projecto de referência dos dados no contexto dos estados membros é de enorme importância, no sentido em que permitirá uma comparação dos dados a nível europeu, implicando a partida, a padronização dos mesmos. Isto é particularmente interessante, dado que, a padronização e harmonização dos dados permite evitar as lacunas relacionadas com a cobertura geográfica entre os estados membros, possibilitando assim uma definição metodológica idêntica entre os diferentes estados, cumprindo deste modo uma das recomendações da Directiva *Inspire*.

Como anteriormente mencionado, a *RDA*, é um projecto de natureza geográfica, e foca-se em cinco tópicos distintos:

- i. Transporte;
- ii. Fronteira;
- iii. População;
- iv. Batimetria e Elevação Terrestre;
- v. Hidrologia.

A capacidade em abordar os cinco tópicos, não só demonstra uma grande importância desse projecto, como também permite verificar a integração dos dados de referência *in-situ*, com os dados espaciais, facilitando desta forma o acesso dos

⁴ Instrumento fundamental e de extrema relevância para a satisfação das exigências da Directiva *Inspire*.

stakeholders e a tomada de decisão. Na verdade, a natureza ampla das duas estruturas (sobretudo as duas estruturas que compõem o lote 1), permitiu acrescentar consideráveis valores no contexto europeu, sobretudo, no que respeita ao desenvolvimento de dados de referência com fácil acesso aos utilizadores. Contudo, de salientar que o lote 1 centrou-se mais na utilização de dados disponíveis globalmente.

Por sua vez, o lote 2 centrou-se mais numa abordagem de análise das informações produzidas e disponibilizadas aos utilizadores, permitindo aos estados membros uma posição de relevância em projectos que visam contribuir globalmente.

De uma forma geral, a *RDA*, pode ser entendida como uma ferramenta da *GMES*, cuja principal função é contribuir para uma melhor harmonização dos dados de referência dentro das instituições dos estados membros, bem como os outros projectos, nomeadamente o projecto *LinKER* e o projecto *Atmosphere and Maritime*.

I.2.3. Projecto *Atmosphere and Maritime*

O projecto *Atmosphere and Maritime* enquadra-se numa iniciativa da união europeia, que visa tratar os dados relativos a atmosfera e oceano. Entrou em vigor em 2010 e contou com um investimento de 5 milhões. Pretende contribuir activamente nos futuros projectos da *GMES*. Engloba dois domínios intrinsecamente ligados a sua génese, nomeadamente *Icemar* e *ObsAIRve*.

I.2.3.1. Domínio *Icemar*

Von Schuckmann *et. al*; (2016: 236), defendem que, “ a observação e monitorização dos oceanos é essencial para uma melhor gestão e maior sustentabilidade dos nossos oceanos e mares, em apoio ao desenvolvimento das actividades humanas e da economia azul. Isso é reconhecido no Objectivo de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas 14 (*SDG*⁵ 14) que visa “conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável”.

Têm-se implementado imensos projectos visando uma melhoria na gestão dos recursos marinhos, de forma a possibilitar uma melhoria dos serviços prestados e

⁵ Na língua inglesa *Sustainable Development Goals*

interoperabilidade entre as empresas que trabalham no domínio marítimo. É nessa linha de desafios que aponta o projecto *MERSEA* (*Marine Environment and Security for the European Area*).

Desenvolvido entre 2004-2008, este projecto abrange três domínios/áreas principais: i) “os sistemas de observação *in-situ* e por satélite de dados dos sistemas de provisão; ii) sistemas de monitorização e de previsão coordenados para cobrirem os oceanos e mares globais oceânicos e regionais que circundam a Europa; iii) produto, aplicações e serviços para demonstrações de usuários” (Blanc, 2006:29).

Um dos grandes desafios deste projecto é proporcionar uma estratégia coesa que integre e vincule fluxos de dados relativos a informação oceânica em diferentes temáticas, nomeadamente, nível do mar e circulação oceânica; temperatura da superfície marítima; dados da reflectância espectral do oceano e dados do gelo marinho (sendo que este último constitui particular interesse ao projecto *Icemar*).

O projecto *Icemar* é uma iniciativa no domínio dos serviços ligados ao espaço marítimo, que pretende dar continuidade ao projecto *Myocean*⁶. Conta com um valor máximo 2. 850.000 euros, sendo que o valor do contracto foi de 2.095.224 euros.

Desenvolvida⁷ entre Dezembro de 2010 e Dezembro de 2013, este projecto ambiciona tornar-se aberto, com o intuito de facilitar informações adicionais, contribuindo para a navegação marítima, com disponibilização de informações próximo do tempo real (*Near Real Time-NRT*).

Com uma forte preocupação sobretudo, no âmbito das alterações climáticas, tendo como principal objectivo, possibilitar o acesso aos dados relacionados com a informação marítima, de forma a determinar e a prevenir as alterações climáticas. O projecto surge assim associado a diferentes fontes e formatos, onde a imagem de radar e satélites de Detecção Remota passiva desempenham um papel de importância acrescida, na elaboração de mapas de navegação marítima com informação actualizada.

⁶ *Myocean* corresponde a um projecto precursor aos serviços *Copernicus* no domínio da informação sobre o espaço marítimo.

⁷ O projecto *Icemar* foi desenvolvido por um conjunto de seis países, nomeadamente, *Kongsberg Satellite Services AS (KSAT), Norway; British Antarctic Survey (BAS) UK; Bundesamt Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Germany; Danish Meteorological Institute (DMI), Denmark; Finnish Meteorological Institute (FMI), Finland; Astrium Geoinformation Services, Germany; Kalmar Maritime Academy (KMA), Sweden; Nansen Environmental and Remote Sensing Centre (NERSC), Norway; Norwegian Meteorological Institute (Met. No), Norway; Swedish Meteorological and hydrological Institute (SMHI), Sweden; VTT Technical Research Centre of Finland (VTT), Finland.*

A abertura de novas rotas marítimas para o comércio através do Ártico, tem sido especialmente levado em linha de consideração, sendo por esta razão, imprescindível, a obtenção de informações não só das situações e localizações dos *icebergs* e de como evitá-los pelos grandes navios, mas também, como navegar por entre as formações dos mesmos.

Atendendo ao documento da Comissão Europeia, relativo aos objectivos do projecto *Icemar*⁸, constata-se uma relevância relacionada com o incremento de informação referente aos espaços marítimos do Ártico e o mar Báltico. Neste sentido, o projecto *Icemar* pretende construir um serviço *GMES* e adoptar elementos fundamentalmente operacionais no domínio dos serviços marítimos dentro dos estados membros.

Embora, o projecto não tenha uma importância idêntica em todos os estados membros, ainda assim, apresenta um potencial enorme para os países directamente envolvidos. Desta forma, de ponto de vista da eficiência, utilidade e o futuro do projecto, sublinha-se que, a utilidade do mesmo, “deverá aumentar no futuro paralelamente as melhorias tecnológicas nas imagens de satélite, o que deverá aumentar o potencial comercial do serviço através do desenvolvimento de melhores ferramentas para detectar a espessura do gelo” (*Centre for Strategy & Evaluation Services*, 2012:31).

De uma forma geral, o projecto *Icemar* contribuiu de forma decisiva na coordenação entre diferentes *stakeholders* (utilizadores e produtores de dados), possibilitando assim o acesso a informação e a possível integração com outros projectos, nomeadamente, *ObsAIRve* entre outros.

1.2.3.2. Domínio *ObsAIRve*

Outra parte do Projecto *Atmosphere and Maritime* é centrada no domínio atmosférico, que visa sobretudo, disponibilizar informações sobre a qualidade do ar para os cidadãos europeus de forma célere e de fácil compreensão, tendo um prazo de implementação de 3 anos (Dezembro de 2010 - Dezembro de 2013).

Abordar *ObsAIRve*, implica uma referência ao projecto *PASODOBLE*. Projecto que resulta de uma iniciativa da Comissão Europeia no âmbito do *Framework*

⁸<http://newsletter.copernicus.eu/article/icemar-%E2%80%93-distributing-sea-ice-information-vessels-arctic-regions> (última consulta 23 de Julho de 2018)

Programme (FP7), com duração de 36 meses e tem como principal objectivo fornecer informações relevantes acerca da qualidade do ar às populações e Instituições de Saúde pública.

A tomada de consciência sobre a qualidade do ar e do bem-estar que desempenha na saúde contribuiu para a implementação de projectos que visam possibilitar a disponibilização de informações relevantes de forma a salvar mais vida e a proporcionar uma melhoria na qualidade do ar. Não surpreende, deste modo, que o projecto *ObsAIRve* vem dar continuidade ao projecto *PASODOBLE*, reafirmando a importância em disponibilizar informações acerca da qualidade do ar aos países envolvidos na iniciativa *GMES*.

Tal como o domínio *Icemar*, *ObsAIRve* serve como um elo de ligação entre as entidades públicas e privadas, de forma a estabelecer uma linha de acção coesa no sentido de proporcionar à iniciativa *GMES* novas aplicações relacionadas com a informação sobre a qualidade do ar nos países membros. Na verdade, pretende contribuir não só para o incremento de suportes de serviços ligados a qualidade do ar na Europa, como também, para a divulgação da iniciativa *GMES*.

De ponto de vista da sustentabilidade do projecto, alguns entraves, sobretudo, no que respeita às dificuldades em angariar financiamentos e investidores (entenda-se os portais privados) para suportarem esta iniciativa. Na verdade, “as dificuldades em convencer os portais privados e comerciais de comprar a aplicação sem uma cláusula de exclusividade puseram um ponto de interrogação sobre a viabilidade do projecto tal como está” (*Centre for Strategy & Evaluation Services*, 2012:35).

Porém, apesar dos entraves em torno do projecto, o *obsAIRve* demonstrou um enorme potencial no domínio da qualidade de ar, com enormes benefícios para a divulgação de informações acerca desta temática nos vários estados membros. No que respeita ao público em geral, muitos utilizadores têm demonstrado um forte interesse nos serviços e dados dos projectos *GMES*.

De uma forma geral, a iniciativa *GMES* possibilitou consideráveis benefícios que resultaram de uma acção conjunta entre as diferentes instituições e países integrantes da União Europeia, facto que permitiu uma maior eficácia no que concerne ao financiamento dos diferentes projectos (cf. Quadro 3).

De facto, a iniciativa *GMES* estabeleceu um marco importante para as políticas de protecção, partilha, divulgação de informações significativas aos estados membros. Se levarmos em consideração os objectivos estabelecidos, podemos identificar dois pontos de grande importância para a iniciativa *GMES*, sendo que o primeiro se refere a diferentes vertentes (segurança, planos de emergência e observação da Terra), com destaque para a Monitorização da Terra.

De facto, a Monitorização/observação da Terra enquanto paradigma da parceria Global de Monitorização do Ambiente e Segurança, tem vindo a ganhar espaço por via da exploração do potencial industrial, que decorreu da necessidade de dotar os países da União de uma capacidade de resposta e actualização das informações geoespaciais. Neste contexto, no que respeita ao segundo ponto, é importante realçar o contributo de forma significativa para novos desafios no âmbito de observação da Terra iniciada pela *GMES*, “estimulando” assim o advento do programa *Copernicus*.

Retomando as ideias atrás apresentadas, é legítimo afirmar que a iniciativa *GMES* contribuiu significativamente para o desenvolvimento de plataformas de difusão de dados relacionados sobretudo com a componente serviços, com especial destaque para a componente espacial (onde se insere o programa *Copernicus*), “responsável por fornecer os dados de observação da Terra necessários ao componente de Serviço *GMES*, que por sua vez é responsável por facultar os dados de observação da Terra e produtos de valor acrescentado aos utilizadores” (*Communications. ESA*, 2012).

Embora não haja dúvida de que o grande objectivo do programa *Copernicus* destina-se ao tratamento e disponibilização de dados *Sentinel*, é fundamental referir também a importância que o mesmo desempenha noutras missões colaborativas fora do âmbito da missão *Sentinel*.

1.3. Programa *Copernicus*

O advento da aquisição de informação geográfica por satélite abriu novas perspectivas e possibilidades de estudar o espaço geográfico, explorar novas metodologias de extracção de informação, contribuindo assim para uma melhor compreensão territorial. Tendo iniciado funções em 2012, o programa *Copernicus* tem por objectivo principal, disponibilizar informações referentes à superfície terrestre relativamente a diferentes áreas do saber.

Na verdade, é um programa europeu para a monitorização da Terra que surgiu na sequência da iniciativa *GMES*, com a finalidade de prosseguir o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido no contexto de observação da Terra.

Ora, essa observação concentra-se essencialmente no estudo do ambiente terrestre, fornecendo posteriormente, toda a informação de forma livre e gratuita ao cidadão através de um conjunto de tecnologias e mecanismos de apoio ao tratamento de dados produzidos. Tendo como objectivo principal a monitorização das dinâmicas do planeta, este programa centra a sua análise em três componentes (global, pan-europeia e local) e diferentes domínios, nomeadamente:

Protecção Civil e ajuda Humanitária. Neste domínio, todos os anos os cidadãos dos estados membros são confrontados com diversos problemas relacionados não só com os incêndios florestais, como também, o surto das doenças contagiosas, deslizamentos de terra, terremotos etc. Neste contexto, o valor a acrescentar por parte do *Copernicus*, é essencialmente na produção e disponibilização de mapas de risco, de forma a contribuir para a protecção civil. No que concerne a eficácia e prontidão em matéria de resposta, o programa *Copernicus* dispõe de novas tecnologias, onde se inserem os satélites *Sentinel* com uma resolução temporal de cinco dias, o que permite uma grande diferença em matéria de monitorização de um dado fenómeno;

Planeamento Urbano e Regional, neste domínio, o contributo do programa *Copernicus*, centra-se fundamental na implementação de políticas locais e regionais a nível da União Europeia, contribuindo assim através da disponibilização de informações relevantes ao crescimento urbano, áreas verdes, uso do solo e sua evolução ao longo dos anos. É sobretudo nesse âmbito que *Copernicus* desempenha uma função de grande importância, cooperando com as autoridades responsáveis pela monitorização do crescimento e evolução urbana;

Outro domínio de grande importância é a Saúde Pública. Na União Europeia, ainda se verifica uma enorme lacuna no que respeita a saúde pública, neste sentido, o contributo do programa *Copernicus* pode-se centrar na elaboração de cartografias das áreas de risco elevado, que possam pôr em causa a saúde pública, como é o caso da poluição do ar, que tem contribuído fortemente para o incremento da mortalidade nos vários estados membros;

Segurança e Transporte. Actualmente a segurança é uma temática fortemente discutida, resultando este facto, dos acontecimentos relacionados com o terrorismo e não só, destacando-se também a cibersegurança, deslizamentos de terra, as vias de circulação (estradas, pontes e vias férreas) etc. No que respeita ao Transporte, esta é certamente uma das temáticas de grande importância para a economia dos estados membros. Neste contexto, os esforços do programa *Copernicus* poderão ser direccionados às autoridades responsáveis, através da disponibilização de informações relevantes acerca da navegação marítima, por via da disponibilização de informações relacionadas com as condições marítimas, facilitando deste modo a navegação dos navios de grande porte, indo desta forma ao encontro dos objectivos do projecto *Icemar* iniciada pela *GMES*, sem esquecer também as modalidades ferro e rodoviária;

Floresta, Pesca e Agricultura. A grande vantagem do programa *Copernicus* nestes dois domínios é o forte contributo para a identificação das alterações ocorridas nas florestas dos países membros (permitindo também uma atenção redobrada relativamente a densidade florestal de cada estado membro).

Relativamente à pesca, as tecnologias incorporadas nos sensores *Sentinel*, possibilitam um estudo alargado dos fenómenos marinhos, permitindo desta forma a disponibilização de informações relacionadas com as áreas de elevados recursos haliêuticos, a monitorização das temperaturas das águas e a actividade fotossintética. Por sua vez, no que se refere à agricultura, o grande contributo poderá ser aplicado nas designadas agriculturas de precisão, uso do solo agrícola e eventualmente na preservação da paisagem.

Protecção Ambiental e Biodiversidade. A aposta e enorme contributo do programa *Copernicus* nestes domínios centram-se essencialmente, na protecção das diferentes faunas e floras, através, da disponibilização de dados relevantes sobre três domínios importantes (Terra, Oceano e Atmosfera), permitindo assim, uma resposta atempada nessas áreas.

Clima e Energia. Tal como nas outras temáticas, no que respeita ao clima e energia, uma das prioridades do programa *Copernicus*, consiste em disponibilizar informações relevantes de forma a mitigar os fenómenos relacionados com as alterações climáticas. No domínio energético, *Copernicus* contribui essencialmente através da disponibilização de informações relacionados sobretudo com a produção de energia,

regulação das mesmas, permitindo assim, que as autoridades consigam uma melhor gestão energética.

Turismo. Uma das áreas que tem vindo a ganhar relevância em matéria de cooperação com o programa *Copernicus*. Neste domínio em específico, essa cooperação é feita através da disponibilização de informações relacionadas com as condições da qualidade das águas costeiras, através de aplicações que permitem obter informações relevantes, graças a capacidade de monitorizar o espaço envolvente.

Posto isto, importa sublinhar que, embora seja uma parceria europeia, desenvolvida pelos estados membros, o programa *Copernicus* desempenha um papel de grande importância no domínio da observação da Terra, contribuindo de forma significativa nas iniciativas de âmbito global destinadas a melhoramento de sistemas de fornecimento de informação espacial Global. Quer isto dizer, que, possibilita uma capacidade acrescida aos países europeus no domínio da observação da Terra, incrementando também a participação destes em iniciativas de âmbito global.

De modo geral, o programa *Copernicus* reafirma a importância da informação geográfica espacial no contexto de observação da Terra, manifestando também a necessidade de envolvimento dos países membros, sobretudo em projectos de diversos domínios de interesse comum sem, no entanto, esquecer o papel da Europa nos projectos de âmbito global, com forte aposta na informação geoespacial.

Efectivamente, o foco na informação geoespacial, como característica intrínseca do programa *Copernicus*, possibilitou uma aposta em diferentes projectos de desenvolvimento de tecnologias espacial, visando a recolha e disponibilização de informação credível e em tempo útil ao público em geral. No âmbito da disponibilização de informação geoespacial, surge a missão *Sentinel*. Na verdade, corresponde a um marco de importância não só para a agência espacial europeia, como também, para os vários países membros. A importância dessa missão tem desenvolvido de forma significativa, sempre com uma visão abrangente a diferentes processos que ocorrem na superfície terrestre.

1.4. Programa Sentinel

A necessidade cada vez maior de obtenção de informações da superfície terrestre por via de Detecção Remota, contribuiu largamente para a abertura de uma nova aposta

e perspectivas de estudar, explorar e desenvolver novas metodologias de obtenção de informação geográfica, acrescentando desta forma, um valor expressivo a compreensão do espaço geográfico.

Após o lançamento do primeiro Satélite de Detecção Remota⁹ passiva, verificou-se um enorme interesse na obtenção de informação por essa via. O despertar desse interesse, resultou de inúmeros factores, nomeadamente, a rapidez, o fácil acesso às imagens de satélite, a gratuitidade de algumas imagens de satélite e sobretudo, do avanço dos novos sensores e o alcance obtido na área da computação e desenvolvimento de algoritmos cada vez mais eficientes no que respeita a extracção de informação através da medição do comportamento e/ou resposta espectral dos fenómenos.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, no que concerne aos avanços registados em Detecção Remota, Casimiro, (2002:55), salienta que, “basicamente, mais e melhores satélites, mais e melhor *software*, mais e melhor poder de computação e, tudo isto, a custos mais baixos, com maior facilidade de acesso e manuseamento. Numa sociedade da informação, onde ela é cada vez em maior quantidade, circula em volumes gigantescos e a grande velocidade”.

Ainda que, tal melhoria e desenvolvimento necessitem de novos esforços no sentido de uma melhoria constante dos mecanismos de extracção de informação, os progressos alcançados nas últimas décadas abriram espaço a uma viragem cujos benefícios, têm contribuído indiscutivelmente para uma melhoria nas tecnologias de observação da Terra e no tipo de informação extraído.

Neste sentido, a *ESA (European Space Agency)*, no âmbito do programa *Copernicus*¹⁰ (nº 377/2014), tem desenvolvido um conjunto de missões designados *Sentinels*. Tal desenvolvimento deveu-se, a uma estreita colaboração institucionais, nomeadamente, União Europeia, *Eumetsat* e indústrias europeias, possibilitando assim, um avanço com os objectivos propostos.

A missão foca-se sobretudo nas temáticas relacionadas com a atmosfera, alterações climáticas, espaço marinho, Terra, segurança e sistemas de emergência. Contando com o apoio de uma série de satélites (*Sentinels*), habitualmente composto por um conjunto de dois satélites (série A e B) (ver quadro 4), o programa *sentinel* tem

⁹ *Landsat I*, 23 de Julho de 1972

¹⁰ Criado através do regulamento da União Europeia (nº 377/2014 do parlamento europeu e do conselho de 3 de Abril de 2014)

registado um conjunto de benefícios desde o lançamento do *Sentinel-1* série A. Após a sua operacionalização, a iniciativa *GMES* tem contribuído consideravelmente, sobretudo, no que respeita a operacionalização dos dados disponibilizados não só ao público em geral, como também, à comunidade científica.

Quadro 4: Missões *Sentinel*, objectivos e especificações de cada satélite.

<i>Satélites</i>	Lançamento e Objectivo
<i>Sentinel-1</i>	Composto por dois satélites, <i>Sentinel-1</i> é: uma missão de produção de imagens radar em tempo real num período de 24 horas, destinando-se a serviços terrestres e oceânicos. Lançado em 3 de Abril de 2014 (<i>Sentinel-1 A</i>) e 25 de Abril de 2016 (<i>Sentinel-1 B</i>), ambos lançados por meio do foguetão <i>Soyuz</i> do <i>Spacecraft</i> a partir da Guiana Francesa.
<i>Sentinel-2</i>	<i>Sentinel-2</i> é uma missão de imagens multiespectrais, em órbita polar, destinado a monitorização da terra, disponibilizando imagens para várias temáticas a superfície terrestre, com capacidade também de fornecer imagens a serviços de emergência. Lançado a 23 de Junho de 2015 (<i>Sentinel-2 A</i>) e 7 de Março de 2017 (<i>Sentinel-2 B</i>).
<i>Sentinel-3</i>	Lançado á 16 de Fevereiro de 2016 (<i>Sentinel-3 A</i>). É uma missão cuja finalidade é, medir a topografia da superfície do mar, a temperatura do mar e da superfície terrestre, com precisão e validade. A missão auxiliará os sistemas de previsão dos oceanos, bem como a monitorização ambiental e climática.
<i>Sentinel-4</i>	Embora ainda não esteja em funcionamento, <i>Sentinel-4</i> , será dedicada a monitorização atmosférica numa órbita geoestacionária.
<i>Sentinel-5</i>	Tal como a missão <i>Sentinel-4</i> , a missão <i>Sentinel-5</i> também terá como objectivo principal a monitorização atmosférico, embora, a partir de uma órbita polar a bordo de um satélite <i>MetOp Second Generation</i> . Outro grande objectivo desse satélite é, reduzir as lacunas de dados <i>Envisat</i> . De um modo geral, esta missão será dedicada a monitorização atmosférica.
<i>Sentinel-5P</i>	É uma missão que está relacionada com uma lógica de continuidade de aquisição de dados que era efectuada por missões descontinuadas como <i>ENVISAT AURA (NASA)</i> .
<i>Sentinel-6</i>	Sem uma data definida para o seu lançamento, este satélite terá como principal função, medição do nível médio do mar de forma global. De modo geral, é um satélite equipado com instrumentos altimétricos destinados aos “estudos oceanográficos” e também operacional aos estudos climáticos.

Adaptado de *European Space Agency - ESA*

No quadro 4 está sumariamente definido, em termos de características, as datas de lançamento de cada série os diferentes satélites que compõem a família *Sentinel*. A existência de um grande número de sensores *Sentinel* permitirá, uma maior operabilidade dos dados, sem esquecer a melhoria na resolução temporal, aspecto de extrema relevância

para um acompanhamento das alterações que vão sendo verificadas nos diferentes fenómenos, em intervalo de tempo relativamente curto.

Neste sentido, importa sublinhar que, “as missões *Sentinel* fornecerão uma continuidade sistemática de dados já amplamente utilizados nas comunidades científicas e de elevada aplicação, assegurando assim, o compromisso operacional e a consistência dos dados a longo prazo. Além disso, as altas revisões temporais, bem adaptadas para registar mudanças rápidas, apoiam a compreensão do processo, validação de modelos e desenvolvimento, além de promover uma análise de dados integrada baseada em sofisticados esquemas de assimilação” (Berger *et. al*, 2012:89).

De uma forma geral, as missões *Sentinel*, enquadradas na componente espacial da *ESA*, têm contribuído fortemente na distribuição e compreensão de vários processos, permitindo desta forma a operacionalização dos dados disponibilizados, reforçando assim a iniciativa *GMES* em termos de operacionais. Aschbacher & Milagro-Pérez 2012 defendem que, “o programa operacional *GMES* a partir de 2014 deverá assegurar a aquisição de satélites recorrentes da *Sentinel*, o acesso operacional às missões contribuintes e às operações de rotina das *Sentinel*” (Aschbacher & Milagro-Pérez, 2012: 8).

I.4.1. Evolução das missões e dos sensores *Sentinel*

Desde o lançamento do primeiro sensor de Observação da Terra (*Landsat-1* em 1972) até a data, a Detecção Remota tem registado grandes avanços não apenas no que respeita as tecnologias de recolha dos registos espectrais dos fenómenos a superfície terrestre, sem esquecer o papel da informática no desenvolvimento dos algoritmos potentes em termos de capacidades, como também, de uma melhoria significativa na capacidade de extracção, análise e interpretação.

Assim, o esforço recente da *ESA*, tem permitido testemunhar a continuidade e grande esforço efectuado no sentido de incrementar novos métodos e tecnologias no domínio da Observação Terra. Efectivamente, a aposta nesse domínio, tem potencializado não só o desenvolvimento dos sensores, como também, a sua evolução ao longo das missões realizadas.

Como estruturado no quadro 4, a *ESA* tem feito uma grande aposta nos sensores da missão *sentinel*, permitindo não apenas o desenvolvimento destes, mas também,

alargando as áreas de intervenção dos mesmos. Neste sentido, é de referir que os satélites *Sentinel* têm evoluído, no sentido de responder as questões levantadas em diversas áreas do saber, o que é evidenciado essencialmente nas características de cada série, como serão descritos nos pontos seguintes.

1.4.1.1. Sentinel-1

Lançado em 3 de Abril de 2014, (*Sentinel-1 A*) e 25 de Abril de 2016 (*Sentinel-1 B*), a série *Sentinel-1* é composto por um conjunto de dois sensores, ambos lançados por meio do foguetão *Soyuz* do *Spacecraft* a partir da Guiana Francesa. Corresponde a uma missão de produção de imagens radar em tempo real num período de 24 horas, destinando-se a serviços terrestres e oceânicos.

Concebido para dar continuidade a observação da terra através de Detecção Remota activa (Radar), tem como principal objectivo, a produção de dados actualizados do espaço terrestre e sobretudo marítimo.

Este sensor utiliza o sistema *Synthetic-aperture Radar (SAR)*, na verdade, é um sistema que permite uma polarização dupla (HH + HV, VV + VH), sendo que H ou V correspondem a uma cadeia de transmissão comutável e duas cadeias de recepção paralelas para polarização H e V. Neste ponto, importa sublinhar que, os dados da polarização dupla têm uma importância enorme na classificação da cobertura terrestre e gelo marinho.

Relativamente a modos de aquisição, o sensor *Sentinel-1* opera em quatro modos diferentes:

- i. *Stripmap*;
- ii. *Interferometric Wide Swath*;
- iii. *Extra-Wide Swath*;
- iv. *Wave Mode*.

O modo *stripmap* é geralmente usado em casos excepcionais. É um modo que fornece uma cobertura com uma resolução de 5m por 5m sobre uma largura da faixa de 80 km. Por sua vez, o modo *Interferometric Wide Swath*, corresponde a um modo de aquisição padrão sobre o espaço terrestre. É usado nos modos interferométrico amplo e os modos *Wide Swath* da *Sentinel-1*. Permite combinar grande largura de faixa (250 km) com uma moderada resolução geométrica (5m por 20m). Utiliza a técnica *Terrain*

Observation with Progressive Scans SAR (TOPSAR), que, na verdade, corresponde a uma alteração do feixe de antena entre várias sub-extensões adjacentes, tendo como principal objectivo, substituir o modo *ScanSAR* convencional atingindo a mesma cobertura e resolução.

No que respeita ao espaço marítimo, a *Sentinel-1* dispõe do modo de observação *Extra-Wide Swath*, como foi referido atrás este modo destina-se ao espaço marítimo, gelo e zona polar. Utiliza a técnica *TOPSAR* tal como o método *Interferometric Wide Swath*, e pode ser utilizado para interferometria, dado que, apresenta as mesmas características, permitindo também adquirir informações de uma área muito mais ampla, na ordem de 400 km a 20m, com uma resolução de 40m.

Por último, o método *Wave Mode*, com uma semelhança à imagem *ERS* e *ENVISAT*, dispõe de uma melhoria considerável na resolução e um novo padrão na aquisição de informação.

As aquisições consistem em várias vinhetas de polarização, sobretudo, em polarização VV ou HH, sendo que essas vinhetas possuem uma resolução de 20 km por 20 km, com uma resolução de 5 m por 5 m a cada 100 km ao longo da trajectória orbital. Com este modo, cada vinheta é tratada como uma imagem discriminada dentro do produto global. O modo das ondas de *Sentinel-1* pode contribuir para a determinação da direcção, comprimento de onda e alturas de ondas nos oceanos abertos.

1.4.1.2. Sentinel-2

Relativamente a *Sentinel-2*, sublinha-se o facto de ser uma missão multiespectral, em órbita polar, destinado a monitorização da terra e disponibilização de imagens sobre vários fenómenos à superfície terrestre.

Lançado a 23 de Junho de 2015 (*Sentinel-2 A*) e 7 de Março de 2017 (*Sentinel-2 B*). Constituído por dois satélites posicionados a 180°, circundam a mesma órbita, possibilitando uma maior frequência na observação de um mesmo espaço a superfície terrestre.

A missão *Sentinel-2* visa também integrar a cooperação internacional. Na verdade, “será membro da constelação de imagem terrestre do comité internacional de satélites de observação da terra (CEOS), que coordenará o acesso às missões do mesmo tipo

(especialmente para a continuidade de dados *Landsat*) para melhorar a informação final para os utilizadores. O *Sentinel-2* garantirá a independência europeia, contribuindo para o impulso global para melhorar a imagem da terra” (ESA *Sentinel-2 Team*, 2010:21).

Cada satélite pesa aproximadamente 1,2 toneladas, de forma a adequar-se aos lançadores *VEGA* e *ROCKOT*. Operam em modo multiespectral, isto é, procedem a recolha dos dados em 13 bandas espectrais, o que contribui bastante para um aumento da resolução espectral, isto é, a capacidade de que dispõe o sensor em distinguir as diferenças nas respostas espectrais dos objectos presentes na superfície terrestre.

Neste sentido, é legítimo afirmar que quanto maior for a resolução espectral dos sensores, maior é a exactidão na discriminação dos objectos. Normalmente, a resolução espectral de um sensor é expressa em número de *bit*, neste caso específico, a resolução espectral é de 12 *bit*, de modo que, a capacidade de discriminação dos sensores pode ir até 4095 níveis de intensidade.

Esta missão dispõe de três objectivos fundamentais: “i) aquisições globais e sistemáticas de imagens multiespectrais de alta resolução com uma alta frequência, ii) fornecer uma continuidade melhorada de imagens multiespectrais fornecidas pelo *SPOT* e *Landsat* e iii) disponibilizar elementos necessários para a próxima geração no domínio de observação da Terra” (ESA *Sentinel-2 Team*, 2010:21; *Drusch et al.*, 2012:25).

1.4.1.3. Sentinel-3

Designado de missão multi-instrumento, tem por finalidade, a medição das temperaturas da superfície oceânica, topografia, temperatura da superfície terrestre e a coloração oceânica e terrestre. De um modo global, é uma missão de observação da terra com o objectivo de auxiliar diversos serviços, nomeadamente, situações de emergência, estudos oceânicos, segurança etc.

Lançado a 16 de Fevereiro de 2016 (*Sentinel-3A*), na base espacial de *Plesetsk*, Rússia. Prevê-se que o lançamento do segundo sensor (*Sentinel-3B*) seja efectuado em 2017. Tal como o *Sentinel-1*, este sensor dispõe de 4 instrumentos incorporados na sua estrutura, cujas características, representam de certa forma, diferentes tarefas para que se destina a produzir informações e são os seguintes:

- *OLCI- Ocean and Land Colour Instrument;*

- *SLSTR-Sea and Land Surface Temperature Instrument*;
- *SRAL-SAR Radar Altimeter*;
- *MWR-Microwave Radiometer*.

O instrumento *OLCI* corresponde a uma ferramenta sucessor do *MERIS* e *Envisat*, embora contém uma melhoria nos canais espectrais, com processamento simplificado. Este instrumento dispõe de cinco câmaras, sendo que cada uma possui um campo de visão de 14,2°. Em relação aos seus vizinhos, apresenta uma sobreposição e uma amostragem espacial de 300m, com uma elevada precisão radiométrica. Segundo o guia técnico disponibilizado pela *ESA*, funciona em três diferentes níveis (nível 0, nível 1 e nível 2), existindo também diferentes produtos associados aos respectivos níveis.

Posto isto, ao nível 0, estão associados três modos distintos de observações (*Earth Observation Mode*; *Radiometric Calibration Mode* e *Spectral Calibration Mode*). Ao nível 1 associam-se os modos, *Earth Observation Mode* (que pretende calcular os produtos do nível 1B); *Radiometric Mode* e *Spectral Mode*. Relativamente ao nível 2, este divide-se em dois processos fundamentais: processamento do oceano e processamento de Terra.

Contudo, neste estudo, não serão aprofundados os modos que constituem cada nível de funcionamento dos diferentes modos.

No que concerne ao instrumento *SLSTR*, tal como o instrumento *OLCI*, também funciona com três níveis diferentes (0, 1 e 2). O nível 0 visa produzir produtos internos não disponíveis aos usuários dos dados *Sentinel-3*. No que respeita ao nível 1, o processamento dos dados é dividido em dois modos correspondentes a duas “áreas” específicas: processamento de calibração de nível 1 e processamento de nível 1A e 1B, correspondentes ao modo de processamento de observação. Por sua vez, o nível 2, é dividido em três modos principais, sendo que cada um é activado por um mecanismo específico incorporado nas configurações do *Sentinel-3*.

No que toca ao instrumento *SRAL-SAR Radar Altimeter*, este desempenha as seguintes funções: aplicação de possíveis modos de medição de radar; modos de rastreamento fechado e aberto; frequência de repetição de pulso de 1,9 kHz (*LRM*), 17,8 kHz (*SAR*); apresenta um erro de alcance total de 3 cm e uma massa de lançamento de 60 kg. Por sua vez, o instrumento *MWR* é uma ferramenta que apresenta como principais

características uma frequência dupla de 23,8 / 36,5 GHz, uma precisão radiométrica de 3 K e uma massa de lançamento de 26 kg.

De facto, foram muitos os progressos alcançados pela *ESA* no que concerne a missões de observação da Terra. Tais progressos resultam em grande medida dos desenvolvimentos conseguidos sobretudo nos novos sensores de Detecção Remota em funcionamento e outros ainda em desenvolvimento para futuras missões em diversas áreas.

1.4.1.4. Sentinel-4

Retomando os argumentos acima apresentados, julgamos importante aqui, referenciar os projectos em desenvolvimento no âmbito de observação da terra. Assim sendo, um dos projectos em desenvolvimento e com uma grande expectativa é sobretudo, a missão *Sentinel-4*. Embora, ainda numa fase não operacional, importa ressaltar que esta missão tem como principal tarefa, o estudo da qualidade do ar no contexto dos países membros e envolvidos no projecto *Copernicus*.

O estudo dos constituintes atmosféricos, de forma a contribuir para a melhor decisão no que se refere a qualidade do ar nos países abrangidos pelo programa Copernicus, constitui o principal objectivo desta missão, com particular atenção as gases como, Ozono (O₃), Dióxido de Nitrogénio (NO₂) também conhecido por Dióxido de Azoto, Dióxido sulfúrico (SO₂) entre outros, cuja finalidade, é contribuir para o desenvolvimento sustentável através da disponibilidade de dados de qualidade e informação útil em período de tempo relativamente curto.

Com um período de vida de oito anos e meio, esta missão visa monitorizar as concentrações atmosféricas de gases e aerossóis com a finalidade de apoiar os serviços operacionais relacionados com a qualidade do ar, protocolo de monitorização das alterações climáticas etc. De forma geral, os objectivos desta missão focam-se em quatro pontos fundamentais:

- i. Monitorização do Ozono Estratosférico;
- ii. Monitorização das alterações climáticas;
- iii. Medições da radiação solar;
- iv. Medições da qualidade do ar.

O sensor em si apresenta uma órbita geoestacionária, característica recente, sobretudo, para um sensor que se destina aos estudos das condições atmosféricas. Esta particularidade introduz um novo marco para a observação da Terra.

Em termos técnicos, está equipado com o instrumento *Ultra-Violet Visible Near-Infrared (UVN)*, que tem como principal função, possibilitar uma observação contínua da composição atmosférica, sobretudo, dos gases troposféricos com base numa alta resolução temporal e espacial.

Acoplado na plataforma *Meteosat Third Generation Sounder (MTG-S)*, prevê-se que o lançamento seja em 2021, as principais características deste sensor podem ser encontradas no *site* da *ESA*, no espaço reservado a informações relativas a missão *Sentinel*¹¹. Assim sendo, com base nas informações disponíveis pela *ESA*, é de referir que as características do *Sentinel-4* podem ser descritas da forma seguinte:

- Tipo de instrumento: espectrómetro de imagem passiva;
- Número de bandas espectrométricas: três bandas *VIS* e *NIR* Ultravioleta (305 – 400 nm), Visível (400 – 500 nm) e Próximo Infravermelho (750 – 755 nm) implementadas em dois espectrómetros *UV-VIS* e *NIR*;
- Resolução espacial: 8×8 km₂;
- Resolução espectral: 0,5 nm para o canal *UV-VIS*; 0,12 nm para o canal *NIR*;
- Precisão radiométrica (absoluta): 3% (meta de 2%) da irradiância do Sol medida, radiância da Terra e reflectância;
- Volume de dados, gerados durante a observação: cerca de 2,0 *Terabits* por dia;
- Resolução temporal: 60 minutos.

De uma forma geral, *Sentinel-4*, dispõe de tecnologias de última geração, com capacidades para produzir dados com significativa importância nos estudos das condições climáticas dentro das missões efectuadas pela *ESA*. Na mesma linha, embora, com distintos objectivos estão também as futuras missões *Sentinel-5* e *Sentinel-6*.

¹¹ Sobre as informações referentes a diversos sensores e missões sentinel, consultar o *link* abaixo <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-4/instrumental-payload>

1.4.1.5. Sentinel-5

Tendo por finalidade, dar continuidade à disponibilização de dados sobre os aspectos atmosféricos, a missão *Sentinel-5* representa parte complementar de uma constelação que responde às especificidades das missões, relativas à monitorização atmosférica. Bem mais que uma parte complementar das missões *Sentinel*, o *Sentinel-5* visa contribuir para o fornecimento de informações relevantes no que respeita à qualidade do ar e às condições atmosféricas.

Tal como *Sentinel-4*, também terá como objectivo principal a monitorização atmosférica, embora, a partir de uma órbita polar a bordo de um satélite *MetOp Second Generation*. Outro grande propósito deste satélite é, reduzir as lacunas de dados *Envisat*. No geral pode-se dizer que, esta missão será dedicada a monitorização atmosférica, com foco particularmente em Ozono estratosférico, radiação ultravioleta, a qualidade do ar, aerossóis e o clima. Com uma cobertura global diária para estudos do clima, qualidade do ar e radiação ultravioleta.

De uma forma geral, o objectivo principal da missão é, monitorizar os principais gases atmosféricos auxiliando desta forma os serviços de monitorização atmosférico do programa Copernicus (CAMS)¹².

Como ficou anteriormente patente, o sensor *Sentinel-5*, está acoplado a satélite *MetOp-SG*, que consiste em “dois pares” de satélites (*MetOp-SG A* e *MetOp-SG B*) (ver quadro 5).

Relativamente ao lançamento da primeira série, de acordo com a informação disponibilizada pela *ESA*, está previsto para 2021. No que concerne ao lançamento da segunda série, será efectuado sete anos após a primeira série (*MetOp-SG A*) e assim sucessivamente. A esperança de vida de cada sensor é de sete anos e meio, com um período de extensão por mais dois anos.

¹² Na língua inglesa, CAMS designa-se por *Copernicus Atmosphere Monitoring Services*.

Quadro 5: Principais características da plataforma MetOp-SG A.

<i>Bus</i>	<i>AstroBus L 250 M from Airbus Defence & Space</i>
<i>Controle de altitude</i>	Modo nominal: direcção de guinada – gyroless Modo de Segurança: estabilizado em três eixos
<i>Massa de lançamento</i>	4065 Kg. (adaptador de lançamento de + 135 kg)
<i>Dimensões Estocadas</i>	6.5 (+ 0.5) x 2.97 x 3.36 metros
<i>Potência</i>	3.2 kW (EOL)
<i>Capacidade de armazenamento de dados</i>	600 Gbit (dimensionados para 1,5 orbitas)
<i>Ligações de comunicações</i>	Ka-band downlink: 781 Mbit/s (2 canais) X-band downlink: 80 Mbits/s
<i>Tempo de Vida</i>	7.5 Anos.

Fonte: *European Space Agency-ESA*

De facto, a *ESA* tem apostado, fortemente no desenvolvimento de sensores com capacidades elevadas e competências para a concretização de missões com importância significativas para os países membros. Prova disso, estão todos os sensores já colocados em órbita, sem também esquecer as missões colaborativas entre a *ESA* e entidades fora do âmbito dos países membros, como é o caso da missão *Sentinel-5P* (ver o quadro 4).

1.4.1.6. Sentinel-5P

Em órbita a 13 de Outubro de 2017, a missão *Sentinel-5P* (*Sentinel-5Precursor*) é uma missão/iniciativa conjunta entre a *European Space Agency* (*ESA*) e o *Netherlands Space Office* (*NSO*) do reino de Holanda. Esta iniciativa tem como principal objectivo, a realização de medições atmosférica com elevada resolução espacial e temporal, relativamente a qualidade do ar, Ozono, radiação ultravioleta e clima.

De uma forma geral, a missão *Sentinel-5P*, corresponde a componente espacial do programa *Copernicus*, que visa sobretudo proporcionar um contributo no que respeita a medições atmosférica e disponibilização atempada dos dados, de forma a determinar os impactos provocados não apenas por emissões naturais, mas também por acção antrópica para fins científicos.

Relativamente às características do sensor sublinha-se que é de baixa órbita, feito de forma a compatibilizar-se com lançador *ROCKOT*. O quadro 6 apresenta as principais características técnicas do mesmo, de acordo com a *ESA*.

Quadro 6: Principais características técnicas do sensor *Sentinel-5P*.

<i>Bus</i>	<i>AstroBus L 250 M from Airbus Defence & Space</i>
<i>Controle de altitude</i>	Três eixos estabilizados com direcção de guinada opcional
<i>Massa de lançamento</i>	820 Kg. (incluindo 82 kg de combustível e instrumento <i>TROPOMI</i> 220 kg)
<i>Potência</i>	1 500 W (EOL), consumo de energia médio 430 W
<i>Capacidade de Carga</i>	156 Ah
<i>Capacidade de armazenamento de dados</i>	Capacidade de memória de massa (redundante) de 480 Gbits para armazenamento de telemetria “científica”. A capacidade de armazenamento deve garantir um downlink livre de perda de dados observacionais <i>TROPOMI</i> com base em um único passe de estação de banda x por órbita.

Fonte: *European Space Agency-ESA*

1.4.1.7. Sentinel-6

Com um lançamento previsto para 2020, caracteriza-se por ser uma iniciativa conjunta entre a União Europeia (*ESA* e *EUMETSAT*) e Estados Unidos (*NOAA* e *NASA*). Embora, o aprofundamento na caracterização do sensor *Sentinel-6* não constituir o objectivo deste estudo, entendemos, necessário clarificar as responsabilidades de cada uma das instituições envolvidas nesta iniciativa. Posto isto, as funções de cada uma das instituições são:

ESA: encarrega-se pelo desenvolvimento do sensor;

EUMETSAT: responsabiliza-se pela preparação das operações de ambos os satélites em estreita colaboração com a comissão europeia;

NOAA: responsabiliza-se pelas ligações de dados nas estações de tratamento de informação nos E.U.A;

NASA: encarrega-se de contribuir através das plataformas de lançamento de ambos os satélites (*Jason-CS A* e *Jason-CS B*) entre outros aspectos.

Num contexto geral, este sensor tem como principal tarefa, providenciar uma alta precisão no que respeita a altimetria da superfície marinha, no quadro dos estudos oceanográficos e climáticos. Partindo deste facto, é lícito referir que os benefícios do *Sentinel-6* caracterizam-se sobretudo por um desenvolvimento efectivo e operacional no ramo da oceanografia, atribuição de mecanismos necessários para o estudo das variações dos níveis do mar, medições da topografia oceanográfica entre outros aspectos.

Efectivamente, o *Sentinel-6* pretende dar continuidade às medições de alta precisão da superfície marinha entre os períodos compreendidos de 2020-2030, cujas aplicações podem ser verificadas essencialmente em matérias ligadas à monitorização do nível médio do mar, monitorização das condições climáticas entre outras áreas, sempre com a preocupação de contribuir com a maior celeridade na disponibilização de informações obtidas.

I.4.2. Missão *Sentinel-2*

Em Detecção Remota, o estudo e a caracterização dos fenómenos à superfície terrestre, constitui indiscutivelmente um dos objectivos fundamentais de quem se dedica á compreensão dos fenómenos geográficos por via desse método.

Visando sobretudo dar continuidade as missões *Landsat* e *SPOT*, o *Sentinel-2* é um conjunto de dois satélites da Agência Espacial Europeia (ESA), cujo objectivo principal é estudar os fenómenos e as suas evoluções (no domínio terrestre), através da monitorização e disponibilização dos dados relacionados com a observação da Terra, permitindo assim, a construção e interpretação de novos significados a partir de imagens de satélites.

Com forte potencial de desenvolvimento, a missão *Sentinel-2*, tem contribuído não só para os estudos urbanos, como também para a segurança, isto é particularmente importante, no sentido em que demonstra uma eficácia notável no que se refere a capacidade de resposta a diferentes fenómenos, como por exemplo a segurança alimentar. Assim, “com uma População global crescente em mente, esta missão oferece informações essenciais para otimizar o rendimento de culturas, ajudando assim a melhorar a segurança alimentar” (*Copernicus*; 2015:4).

A preocupação das entidades envolvidas no programa *Copernicus* e missão *Sentinel* em particular permitiu não só o desenvolvimento eficaz dos sensores, como

também, possibilitou o alargamento das áreas de aplicações, como é exemplo o rendimento de culturas. Neste contexto, verificou-se uma clara tendência de contributo à análise de informações sobre diferentes fenómenos e diferentes áreas temáticas, nomeadamente, a ocupação do solo, expansão urbana, actividade clorofilina, crescimento das diferentes plantações, particularmente importante, visto que, proporciona o reforço da mecanização do sector agrícola.

Posto isto, salienta-se que, as características tecnológicas do *Sentinel-2* respondem positivamente às “exigências” necessárias em matéria de produção de informação geográfica útil à tomada de decisões. Aqui, decorre desde já, a necessidade da descrição das especificações e características dos sensores utilizados para esse estudo.

I.4.3. Especificações e características do *Sentinel-2*

Como previamente mencionado, *Sentinel-2* corresponde a um conjunto de dois satélites lançados pela Agência Espacial Europeia. De acordo com Drusch *et al.*, (2012:25) “os principais objectivos da missão *Sentinel-2* são: *I*) aquisições globais e sistemáticas de imagens multiespectrais de alta resolução com uma alta frequência, *II*) fornecer uma continuidade melhorada de imagens multiespectrais fornecidas pelo *SPOT* e *III*) fornecer elementos necessários para a próxima geração no domínio de observação da Terra”.

Como ficou patente atrás (ver o ponto 4.1.2), a missão conta com dois satélites (*Sentinel-2A* e *Sentinel-2B*), tendo a *Sentinel-2A* entrado em funcionamento a 23 de Junho de 2015, seguido de uma segunda fase, que resultou no lançamento do *Sentinel-2B* a 7 de Março de 2017. No que respeita aos sensores, é de sublinhar que os sistemas destes dois sensores foram desenvolvidos por um consórcio liderado pela *Astrium GmbH* (Alemanha), sendo que, os instrumentos multiespectrais ficaram sob a responsabilidade da *Astrium SAS* (França), sem esquecer também, a importância do consórcio *EADS-Astrium*, sobretudo, pela experiência que o mesmo demonstrou na participação de projectos anteriores, relacionados com a observação da Terra.

Os sensores *Sentinel* funcionam paralelamente (na mesma órbita), a 180° (ver figura 2), tendo sido projectados para proporcionar uma alta frequência de observação do mesmo espaço a superfície terrestre. O *Sentinel-2* encontra-se a uma altitude média de 800 km, empenhada sobretudo, na cobertura total e sistemática da superfície terrestre.

Como referem Aschbacher e Milagro-Pérez (2012:6), “a missão é dedicada à cobertura completa e sistemática de todas as superfícies terrestres (incluindo as principais ilhas) globalmente, - 56° (América do Sul) a + 83° (Gronelândia do Norte) latitude, com uma largura de faixa de 290 km”.

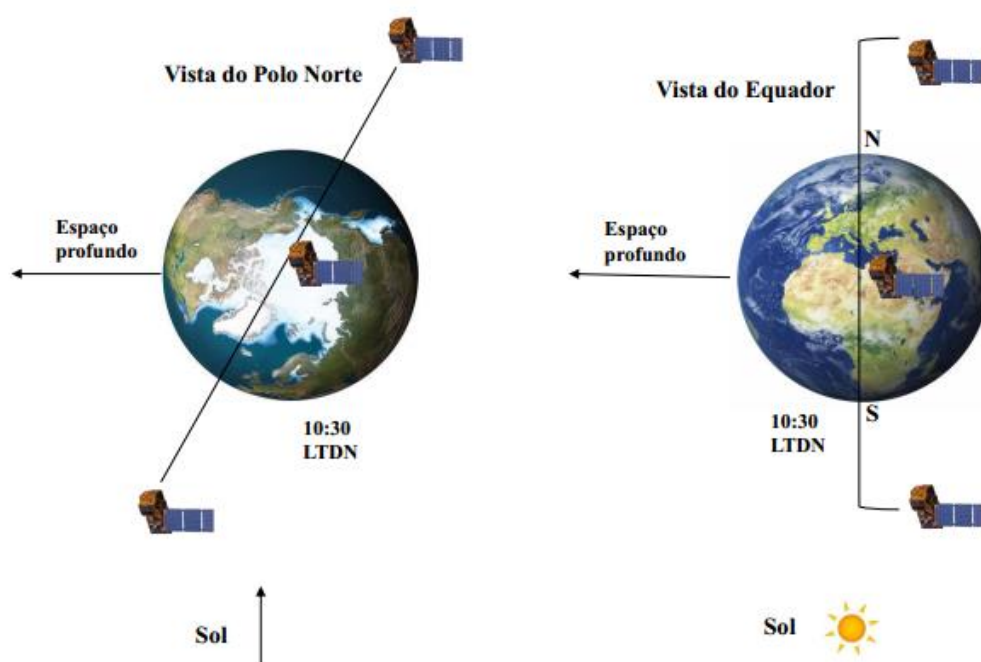
Não obstante, é de sublinhar que, a frequência com que o mesmo local é observado segundo a configuração orbital esquematizada na figura 2, geralmente, não ultrapassa os 10 dias caso a observação seja efectuada apenas com um único sensor, por sua vez, com os dois sensores em simultâneo a resolução temporal passa a ser apenas de 5 dias, constituindo assim uma mais-valia em matéria de actualização de informações relacionadas com os desastres naturais, incêndio entre outros acontecimentos que carecem de uma rápida resposta.

De facto, são inúmeras as vantagens dos satélites *Sentinel*, desde logo a sua resolução temporal e posição em relação ao ângulo solar como é visível na figura 2. De modo geral, a resolução temporal dos sensores, permitem estudar diferentes fenómenos, num período de tempo relativamente curto. Na verdade, a “ampla faixa, a revisão frequente, a riqueza espectral e a disponibilidade gratuita de dados *Sentinel-2A* tornam muito útil investigar o seu potencial de mapeamento de Espaço Verde Urbano”, Rosina *et. al* (2016:565).

No que respeita ao ângulo solar, tomando como exemplo a figura acima, é de sublinhar que a órbita do *Sentinel-2* segue uma configuração de acordo com a posição solar. Na verdade, “a órbita *Sentinel-2* é usada para assegurar que o ângulo da luz solar sobre a superfície terrestre é consistentemente mantido. A manutenção da órbita dos satélites ao ângulo solar, reduz o impacto das sombras e níveis de iluminação no solo, garantindo a consistência ao longo do tempo” (Sentinel-2 User Handbook 2015:18). Assim, a luz é separada em dois planos focais no interior do sensor, uma referente as bandas do visível e infravermelho próximo e a outra as bandas do infravermelho médio.

Outra vantagem prende-se essencialmente com o número de bandas espectrais que os mesmos apresentam, o que em termos de discriminação dos fenómenos, constitui um aspecto fundamental.

Figura 2: Configuração Orbital dos dois satélites *Sentinel-2*



Adaptada de Drusch *et al.*, (2012:27)

Tendo uma resolução espacial que varia entre 10, 20 e 60 m em função da banda espectral utilizada, os sensores *Sentinel* dispõem de um total de 13 bandas espectrais, sendo que 4 delas contêm uma resolução de 10 metros (B2 *Blue* 490nm; B3 *Green* 560nm; B4 *Red* 665nm; e B8 *Near Infrared* 842nm), seguidas de outro grupo com resolução de 20 metros (B5 *Red Edge* 705nm; B6 *Red Edge* 740nm; B7 *Red Edge* 783nm; B8a *Red Edge* 865nm; B11 *SWIR* 1610nm e B12 *SWIR* 2190nm), por fim, seguem-se as bandas com resolução espacial de 60 metros (B1 *aerosols* 443nm; B9 *Water Vapour* 945nm e B10 *cirrus detection* 1375nm) (Handbook, 2015:51).

Este facto é referido por Rosina *et. al*, (2016:563); van der Werff & van der Meer, (2016:1); Lefebvre *et.al* (2016:2). Como já foi referido, outra vantagem dos satélites *Sentinel* prende-se com o campo de visão instantânea de 290 km, o que, objectivamente representa “um passo em frente em comparação com outras missões multiespectrais” (Communications ESA, 2012).

Posto isto, importa esclarecer alguns aspectos relacionados sobretudo com as características das bandas espectrais apresentadas pelos sensores *Sentinel-2*. Ora, uma das razões para a apresentação de 13 bandas espectrais, prende-se essencialmente com a

separabilidade espectral dos objectos à superfície terrestre, cuja temperatura é superior ao 0° absoluto.

Neste contexto, uma vez que, a resolução espectral dos sensores é definida pela capacidade que possuem em identificar um objecto com base nas respostas espectrais, permitindo desta forma proceder a separabilidade espectral dos objectos, consequentemente, minimizando os efeitos da mistura de *sub-pixel*.

Segundo, Radoux *et. al* (2016:4), “a separabilidade é definida como a contribuição mínima necessária de um objecto de primeiro plano em misturas de *sub-pixels* simuladas que preservam sua detecção precisa”.

Após esta breve, mas essencial referência a capacidade discriminatória dos sensores *Sentinel*, importa sublinhar que, esta capacidade constitui uma vantagem considerável no que respeita à identificação dos objectos com base na separabilidade das suas respostas espectrais, explicando esse facto, através da quantidade de bandas espectrais que os sensores têm incorporadas nas suas plataformas.

Sublinha-se assim que, a vantagem em possuir as 13 bandas espectrais, permite, registar a radiação reflectida pela atmosfera e emitida pela Terra em 13 bandas, desde o Visível e Infravermelho próximo até Infravermelho de ondas curtas, cujo comprimento de onda trazem como medida padrão o nanómetro, contribuindo deste modo para o alargamento das aplicações dos dados.

1.4.4. Aplicações dos dados Sentinel

As transformações verificadas em matéria de Observação da Terra resultam, não só do desenvolvimento dos sensores, como também de uma forte aposta na formação de técnicos direccionados a análise e interpretação das imagens de satélite.

De facto, de ponto de vista de análise espacial, são muitas as aplicações resultantes de imagens de satélite. Embora, reconhecendo esse facto, neste ponto a nossa análise terá como foco central as aplicações efectuadas com recurso aos dados *Sentinel-2* em diversas áreas do saber, não se limitando apenas ao ambiente urbano.

Ao longo deste estudo, as consultas bibliográficas efectuadas permitiram constatar a existência de um vasto leque de trabalhos desenvolvidos, com base nos dados *Sentinel-2*. A contribuir para este facto, está, o desempenho que estes sensores têm permitido para

o incremento da utilização dos mesmos na extracção de diferentes fenómenos à superfície terrestre.

Assim, com o objectivo proporcionar a continuidade das missões *Landsat* e *Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT)*, é inegável a quantidade de estudos resultantes dos sensores *Sentinel*, o que se comprova com o aumento de estudos conduzidos ao longo dos últimos anos, sobretudo, no sentido de demonstrar as suas potencialidades.

Na verdade, a razão principal para este aumento, deveu-se sobretudo, à oferta de enormes vantagens, desde, “uma combinação sem precedentes de cobertura global sistemática de terras e áreas costeiras, uma alta revisão de cinco dias sob as mesmas condições de visualização, alta resolução espacial e um amplo campo de visão (295 km) para observações multiespectrais a partir de 13 bandas na faixa visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do espectro electromagnético” (Gascon *et. al.*, 2017). Neste contexto, é de sublinhar que, estas e outras vantagens contribuíram indubitavelmente para a crescente aplicação, juntamente com a elevada qualidade dos dados a exactidão geométrica e as respostas espectrais dos dois sensores.

Não surpreende, portanto, que, recentemente se tenha verificado a abertura de uma vasta gama de aplicações *Sentinel-2*. Conforme veremos nos parágrafos seguintes, onde se procederá à apresentação de alguns estudos considerados de grande relevância para os dados *Sentinel-2*.

Na sequência do que foi referido atrás, refere-se que, uma das aplicações, pode ver-se em, Lefebvre *et. al* (2016) onde se utilizou os dados *Sentinel-2A* para efectuar classificação multitemporal e multisensor, os autores aplicaram os dados *Sentinel-2A* e *Landsat8* as cidades de Praga (República Checa) e Rennes (França), cujo principal objectivo é detectar alterações no meio urbano para as duas cidades.

A metodologia utilizada incluía o método *Dempster-shafer theory* que serve para efectuar a fusão das imagens. Segundo os autores, este método, baseia-se numa abordagem *bayesiana*, fundindo um conjunto de funções de massa emitidas a partir de várias fontes de observações associadas à crença em algumas hipóteses. A grande vantagem deste método resume-se à união de hipóteses.

Para determinar a exactidão das classificações efectuadas, utilizou-se o método *PANTEX*. Este método apresenta a textura das bandas, contribuindo de forma

significativa para comparar valores espectrais, e demonstração da exactidão resultante da fusão multitemporal e multisensor, neste caso, sob as duas áreas urbanas atrás mencionadas. Relativamente aos resultados, importa referir que, os dois métodos apresentaram respostas satisfatórias, tendo o resultado final atingido uma exactidão e *Kappa Index Agreement* (0,9)¹³.

Toming *et al.* (2016) desenvolveram um estudo baseado na utilização de imagens *Sentinel-2* para a detecção de alterações dos estados dos lagos, baseando-se na determinação da quantidade de matérias orgânicas registadas. A metodologia centrou-se na utilização da medida de *spectrophotometric* para identificar a coloração da água. No que concerne ao carbono orgânico dissolvido, utilizou-se a medida de *TOC-Vcph*. Esta medida, serve para determinar total de Carbono numa superfície aquática. Com este estudo, os autores concluíram que, o mapa resultante demonstra grande eficácia e potencialidade dos dados *Sentinel-2 MSI*, tendo contribuído significativamente para a determinação da concentração de Carbono dissolvido na água.

Rosina *et. al* (2016:565) demonstraram as capacidades dos sensores *Sentinel* na extracção de área verde urbana. A metodologia utilizada baseou-se na aplicação do método de classificação automática, extracção de polígonos de espaço verde urbano para a classificação dos dados, e a classificação manual dos polígonos. Concluiu-se com este estudo que, as “cidades com maior fragmentação do espaço verde urbano podem ser subestimadas. Com o aumento da fragmentação e heterogeneidade da paisagem urbana, a quantidade de mistura de *pixels* aumenta (quando 10 ou 20 metros de *pixels* são considerados) e a precisão da classificação decresce”.

Por sua vez, num estudo que pretende sobretudo testar as potencialidades dos dados *Sentinel-2A* e *Landsat8*, van der Werff e van der Meer (2016), utilizaram os dados *Sentinel* para estudos geológicos. Os autores testaram as potencialidades multisensor (tendo sido utilizado os dados *Sentinel-2* e *Landsat8*). A metodologia utilizada baseou-se essencialmente na comparação das bandas dos dois sensores. A utilização do *Sentinel-2* deveu-se sobretudo à capacidade do sensor em identificar o óxido de ferro, tendo-se utilizado as bandas do infravermelho próximo para a identificação do minério.

¹³ A exactidão das classificações realizadas recorreu ao *Kappa Index Agreement*, método que utiliza uma matriz para calcular a concordância existente entre dados classificados e dados de referência. O *Kappa Index Agreement* pode ter concordância nula, quando o seu valor é igual a zero, e concordância perfeita quando o seu valor é igual a um.

Com este estudo, demonstraram não só uma elevada correspondência entre os dois sensores (devido à proximidade de características das bandas espectrais), como também, alcançaram uma elevada proximidade entre os dados utilizados e os mapas geológicos da área em análise.

De facto, foram muitas as aplicações realizadas a partir dos dados *Sentinel*, cujos resultados, demonstraram enorme potencialidade desse sensor em muitos projectos em que foram aplicados. Partindo desse facto, é de salientar que, no domínio de Detecção Remota, actualmente, verifica-se no contexto europeu uma tendência para o incremento de projectos com resultados interessantes, cujos dados, resultam essencialmente dos sensores *Sentinel*.

A resposta a essa tendência, deveu-se sobretudo aos esforços efectuados por parte da *ESA*, com especial enfoque no aumento da resolução dos sensores, o número de bandas espectrais de que dispõem, a resolução temporal e as respectivas plataformas de apoio a divulgação dos dados *Sentinel* no âmbito das iniciativas de cariz comunitário. Neste sentido, conforme veremos no ponto seguinte deste estudo, será efectuada uma breve descrição acerca da plataforma portuguesa IPSentinel.

1.5. Projecto IPSentinel

Com a finalidade de proporcionar uma maior facilidade na obtenção e disseminação dos dados provenientes das missões *Sentinel*, a *ESA* levou ao cabo um conjunto de iniciativas das quais faz parte o projecto *Collaborative Ground Segment* (*CollGS*). Na verdade, é um projecto que conta com vários parceiros dos quais os Estados Membros envolvidos no programa *Copernicus*. É uma iniciativa focada sobretudo no tratamento e disseminação dos dados provenientes das missões *Sentinel*.

Objectivamente trata-se de uma iniciativa cuja principal tarefa é receber e disseminar os dados provenientes dos satélites *Sentinel* a todos os estados membros. Ora isto é particularmente importante, porém, a quantidade de informação disponibilizada tem aumentado cada vez mais o que acrescenta uma maior dificuldade sobretudo, no que respeita a armazenamento dos dados.

É nesse sentido que através da *Collaborative Ground Segment*, se propôs a criação de uma espécie de espelho nacional (*National Mirrors*), que consiste essencialmente num repositório secundário a todos os países envolvidos nas missões sentinel. Como resultado

dessa proposta, em Portugal, criou-se a plataforma IPSentinel. Essa plataforma pretende responder às questões levantadas pelo segmento colaborativo do solo, contribuindo assim, para a política de participação activa de Portugal no programa *Copernicus* mais especificamente na componente de Observação da Terra. A plataforma em si tem como principal objectivo, armazenar e disseminar os dados resultantes das missões *Sentinel*, permitindo um acesso aberto e gratuito a dados obtidos para o território português.

Promovido pela Direcção Geral de Política do Mar (DGPM), a plataforma IPSentinel, nasceu de uma estreita colaboração entre a Direcção Geral do Território (DGT) e o Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), através do aparelho financeiro do Espaço Económico Europeu (*EEA Grants*). Esta plataforma tem a capacidade de disponibilizar dados a nível nacional, incluindo as áreas de responsabilidade de busca e salvamento.

Uma das grandes vantagens dessa plataforma prende-se fundamentalmente com a rapidez na obtenção e disponibilização dos dados *Sentinel*. Porém, importa sublinhar que este facto só é possível graças a Estação colaborativa de Santa Maria (Açores)¹⁴, a primeira estação a receber os dados referentes ao Território Nacional, cuja divulgação só é possível posteriormente no portal da Agência Espacial Europeia (*ESA*).

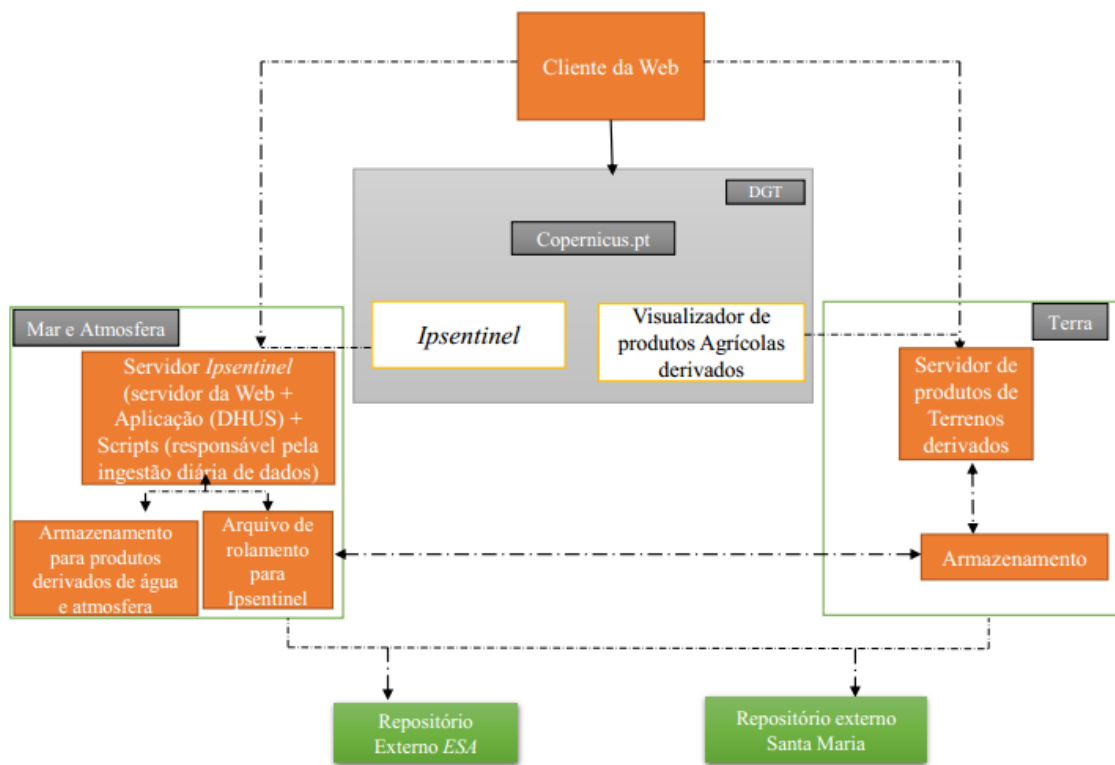
¹⁴ Estação gerida pela empresa *EDISOFT*

I.5.1. Arquitectura IPSentinel

O projecto IPSentinel foi concebido de forma a interagir com diferentes serviços. Segundo Caetano *et al.*, (2015:6), “a arquitectura prevista é constituída por um *Website*, dois servidores e três servidores de disco (*storages*) divididos em dois blocos, um direccionado para produtos relacionados com o mar e atmosfera (Bloco Mar e Atmosfera) e outro direccionado para produtos relacionados com o meio terrestre (Bloco Terra)” (ver figura 3).

As principais finalidades de cada uma das “secções” evidenciadas na imagem resumem-se no seguinte: Copernicus.pt tem por finalidade armazenar e disponibilizar informações referentes a produtos *Sentinel*.

Figura 3: Arquitectura IPSentinel



Adaptada de Caetano; 2015:7

A IPSentinel *Front-End Server*, desempenha a função de *Webserver*, sendo responsável pelos dados obtidos através do repositório da ESA e da Estação de Santa Maria. Relativamente a *Storage for derivated Water and Atmospheric Products*, este tem

por objectivo, armazenagem de produtos referentes ao estado do Mar e Atmosfera. No que concerne a *Storage for Land Products*, ocupa-se da armazenagem de produtos referentes a informações terrestres.

Por sua vez, a IPSentinel *Rolling Archive*, corresponde ao repositório de imagens provenientes dos repositórios da *ESA* e da Estação de Santa Maria. Além da armazenagem dos produtos dos dois repositórios, tem também a finalidade de actualizar os dados armazenados a cada dois meses.

De uma forma geral, dado a elevada procura por informação geográfica, sobretudo, das imagens de satélites, é de sublinhar que a criação da plataforma IPSentinel cumpre uma função fundamental no que respeita a diferentes áreas do saber e a um público cada vez mais interessado nesse tipo de dados.

**CAPÍTULO II - DETECÇÃO REMOTA:
SINTESE DOS PRINCÍPIOS E CONCEITOS
FUNDAMENTAIS**

II.1. Introdução

Num mundo cada vez mais dinâmico e complexo, urge a necessidade de uma maior compreensão dessa dinâmica, de forma a responder atempadamente às questões relacionadas com as necessidades humanas e o espaço envolvente.

Partindo deste facto, é lícito afirmar que a Detecção Remota sempre acompanhou a Humanidade nessa “caminhada” pela interpretação e compreensão da realidade, ainda que, através da visão e não de sensor como é frequente hoje, sobretudo, para quem se dedica ao estudo do espaço geográfico por via de Detecção Remota. De facto, a visão é uma ferramenta poderosíssima para a compreensão do espaço envolvente. Na verdade, o olho humano constitui aquilo que Sabins (2007:13) designa de “exemplo familiar de um sistema de Detecção Remota”.

De facto, no que toca à compreensão do espaço, o olho humano desempenha uma função totalmente idêntica a de um sensor de Detecção Remota. As características da visão e de um sensor de Detecção Remota assemelham-se em muitos aspectos, contudo, tal semelhança é mais vincada sobretudo, na forma como recolhem a informação relativamente a um objecto, sem no entanto entrar em contacto com o mesmo.

De facto, além da importância, a estrutura da visão permite não só recolher informação, como também complementá-la com o cérebro, constituindo ainda a “ferramenta” mais utilizada para analisar e interpretar a informação recolhida/produzida por outros sensores de Detecção Remota.

Retomando os argumentos acima, salienta-se que, no contexto de grandes mudanças e sobretudo, com o advento da fotografia aérea e imagem de satélite (satélites de detecção remota passiva) que de uma forma notável, têm influenciado a forma como a Geografia vem respondendo as diferentes questões, a visão ocupou um lugar de destaque, sem esquecer avanços científicos e tecnológicos que se tem vindo a registar.

Na verdade, no domínio das ciências de observação da Terra, a detecção remota, “cresceu notavelmente nas últimas décadas. Esse crescimento foi estimulado pelos rápidos avanços tecnológicos que abriram novas perspectivas de análise e pesquisa. Destes avanços, a fusão da espectroscopia e da imagem tem sido a mais importante” (Mustard and Sunshine; 1999:251).

Ora, isto é particularmente interessante, visto que, o aparecimento recente dessas alternativas tem moldado as metodologias que até então eram utilizadas no estudo

geográfico. Neste estudo, o foco da nossa análise é centrado, sobretudo, em interpretação geográfica da classificação do uso e ocupação do solo resultante da análise de imagens de satélite de detecção remota passiva, embora, reconhecendo o papel e a importância das fotografias aéreas em estudos geográficos.

Efectivamente, os métodos de extracção de informação geográfica com base nas respostas espectrais dos fenómenos e ou, na análise dos registos electromagnéticos, tem crescido de forma notável desde o lançamento do primeiro satélite de observação da Terra (*Landsat-1*), contribuindo de forma significativa, para uma nova interpretação geográfica dos fenómenos em estudo.

Isto é particularmente verdadeiro e fortemente debatido ao longo de décadas, com avanços cada vez mais significativos no que respeita a novas metodologias e respostas aos diferentes fenómenos, contribuindo assim para uma melhor definição e consolidação desta nova metodologia, focada fundamentalmente na interpretação das diferenças verificadas na capacidade dos fenómenos em reflectir a radiação electromagnética emitida pelo sol.

A par dos avanços tecnológicos registados nesta matéria, consequentemente, muitos estudos têm sido realizados. São prova disso, os estudos levados ao cabo por Kiefer, (1979) sobre a detecção remota e interpretação da imagem, Sabins (2007) sobre os princípios e interpretação de detecção remota, Gupta (2003) sobre a detecção remota e geologia, entre outros.

De facto, a detecção remota apresenta vantagens acrescidas no que toca a capacidade de estudar fenómenos com um alcance considerável, sendo que muitos dos fenómenos apenas são conhecidos por via de detecção remota, dada a sua localização. Neste contexto, Gupta (2003:4), apresentou as vantagens e limitações da detecção remota, tendo apontado os seguintes aspectos:

- i. **“Sinóptica Visão geral:** a detecção remota permite o estudo de diferentes características espaciais em relação um ao outro, permitindo também delinear características e estabelecer tendências;
- ii. **Aspectos de Viabilidade:** uma vez que algumas áreas podem não ser acessíveis ao levantamento terrestre, a única maneira viável de obter informações sobre essas áreas é através de detecção remota;

- iii. **Racionalização do tempo:** as técnicas de detecção remota permitem economizar o tempo e mão-de-obra, devido sobretudo, a rapidez com que a informação é recolhida e processada;
- iv. **Aplicações Multidisciplinar:** os mesmos dados de detecção remota podem ser utilizados por pesquisadores de diferentes áreas do saber”.

II. 2. Abordagem Prévia

II. 2.1. Definição

O espaço geográfico é por natureza, complexo e dinâmico. Com base nesse facto, uma das formas mais eficazes para a sua compreensão, é indubitavelmente por via de técnicas avançadas, dentro das quais se destaca a Detecção Remota.

Desde meados dos anos 1960, 1970 até à data, esta ciência tem acompanhado e sustentado a nossa curiosidade no que respeita a compreensão do espaço circundante. Na verdade, desde o lançamento do primeiro satélite de Detecção Remota, tem-se registado um crescente interesse em estudar o espaço, com base, não só na fotografia aérea, como também na imagem de satélite.

Esse feito, possibilitou, segundo Gupta (2003:2) o “início de uma nova era na história de detecção remota da terra”. Efectivamente deu-se um enorme salto no estudo dos fenómenos espaciais dentro da comunidade científica. Neste contexto, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos e consequentemente muitas definições apresentadas sobre a mesma. Posto isto, de forma tão só de deixar claro a definição desta ciência, o presente capítulo apresenta algumas definições que podem ser encontradas nos diversos estudos sobre esta matéria, e referem-se ao seguinte:

“A Detecção Remota refere-se ao grupo de técnicas de recolhas de informações sobre um objecto e o seu envolvente sem contacta-los fisicamente. Normalmente, isso dá origem a alguma forma de imagens que é processada e interpretada para produzir dados úteis para a aplicação em agricultura, arqueologia, silvicultura, geografia, geologia, planeamento e outros campos” (Lo, 1986:1).

Neste sentido, é lícito afirmar que “a Detecção Remota é a ciência e a arte de obter informações sobre um objecto, área ou fenómeno através de análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contacto com o objecto, área ou fenómeno sob investigação” (Lillessand, *et. al* 2015:1) .

Seguindo a mesma linha de raciocínio, é de sublinhar que a detecção remota “é uma forma de recolher informações sobre um determinado fenómeno sem contacto directo, geralmente sem o conhecimento do alvo. No presente contexto a Detecção Remota refere-se a recolha de dados relativos ao ambiente de superfície terrestre” (Walford, 2002:51) . Geralmente, esta recolha é toda ela feita a distância do objecto em estudo.

“O termo Detecção Remota refere-se a métodos que empregam energia electromagnética, como luz, calor e ondas de rádio como meio de detectar e medir características de alvo ” (Sabins, 2007:1).

Sem querer aprofundar a evolução deste método, ainda assim, é de enfatizar que esta ciência tem evoluído muito, sendo que tal evolução contribuiu efectivamente para a consolidação da mesma. De facto, ganhou significados em diferentes áreas do saber, nomeadamente, “nas ciências ambientais de geografia, geologia, botânica, zoologia, engenharia civil, silvicultura, meteorologia, agricultura e oceanografia, geralmente refere-se ao uso de sensores de radiação electromagnética para registar imagens do ambiente que pode ser interpretado para produzir informações úteis” (Curran, 1985:1) .

Em termos de construção da imagem através da energia electromagnética, de acordo com os fundamentos desta ciência, “a energia que é transmitida pela superfície terrestre é medida usando um sensor montado em uma plataforma de aeronave ou satélite. Essa medida é usada para construir uma imagem da paisagem” (Richards & Jia, 2006:1), sem que exista um contacto com o objecto de estudo.

Esta ideia é enfatizada por (Matos, 2008:219), que defende a detecção remota como processo de “aquisição de informação relativa a um dado fenómeno sem que exista contacto físico entre este e o dispositivo de medição. Na prática, o termo é utilizado somente quando aplicado a sensores de radiação electromagnética orbitais”. Não obstante, embora não exista contacto físico entre o sensor e os fenómenos em análise, as características físico-químicas dos fenómenos/objectos resultam, sobretudo, das respostas espectrais, através da reflectância dos mesmos.

Outra perspectiva defende que, a “detecção remota significa obter informações sobre um objecto sem o contacto com o mesmo. Possui duas facetas: a tecnologia de aquisição de dados através de um dispositivo localizado de medição e a análise dos dados

para a interpretação dos atributos físicos do objecto, ambos os aspectos estão intimamente ligados entre si” (Gupta, 2003:1).

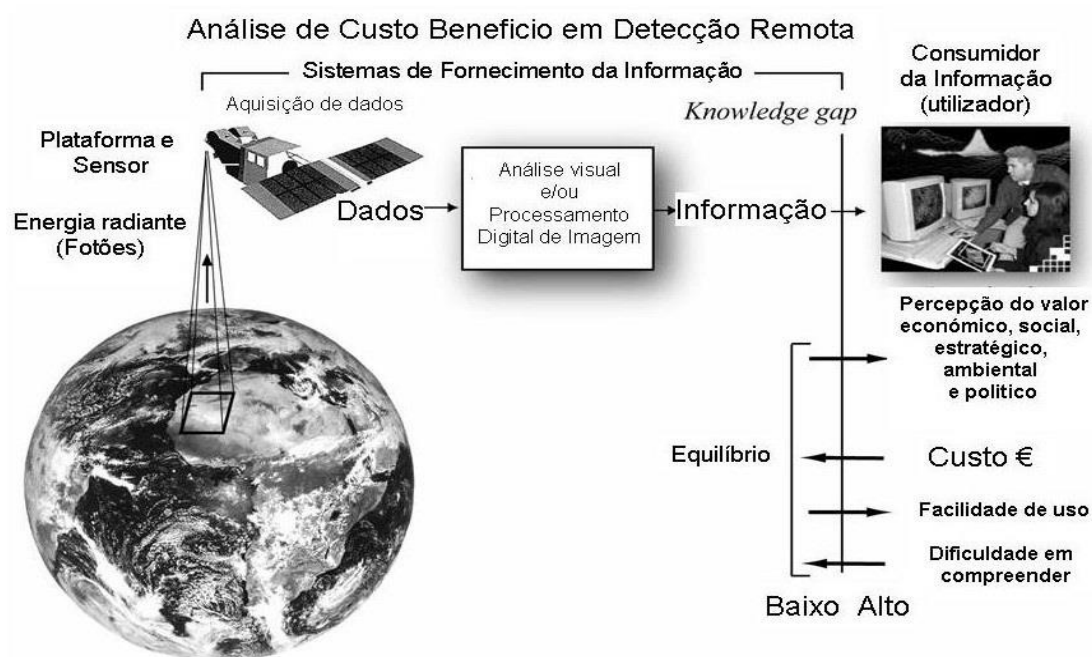
Meneses e Almeida (2012:3) alegam que esta é a “ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação electromagnética com os materiais terrestres”.

Uma outra definição mais completa aqui apresentada, define a detecção remota como, “conjunto de conhecimentos e técnicas necessárias para interpretar diversos objectos através do seu comportamento espectral e distribuições espaciais recorrendo a medições de características específicas feitas à distância” (Girard, M.C; Girard, C.M. 1989:1, *apud*. Casimiro, 2002:48).

Face às definições acima apresentadas, podemos afirmar que, geralmente, a detecção remota é definida como o método ou a ciência de estudar um objecto através dos dados obtidos, estruturados e analisados, sem se verificar um contacto físico com os objectos em estudo, limitando-se a analisar as características dos mesmos, baseando-se, fundamentalmente nas respostas espectrais proporcionadas pela radiação electromagnética emitida pelo Sol, posteriormente reflectida pelos objectos à superfície terrestre, através de um processo designado por emitância/resposta espectral ou simplesmente reflectância dos objectos.

Retomando os argumentos acima apresentados, a figura 4, esquematiza de forma simples todo o processo de aquisição e tratamento de dados de Detecção Remota.

Figura 4: Esquema de Sistema de Detecção Remota da aquisição de dados à produção de informação geográfica.



Fonte: Jensen (2015:28)

II. 2.2. Abordagem Física da Detecção Remota

II. 2.2.1. Radiação electromagnética

“São apenas quatro, as forças fundamentais que regem – gravidade, electromagnética, nuclear fraca e nuclear forte. Apesar de alguns físicos tentarem encontrar provas da existência de uma quinta força, mas até agora todas essas tentativas falharam.” (Kaku, 2014:56, Gleiser, 2010:156) .

Partindo desta visão, o nosso estudo segue uma linha centrada fundamentalmente na “força electromagnética”, dado que, é aquela que pela sua natureza e características, permite que um objecto possa ser caracterizado de forma mais precisa devido a uma certa gama de comprimentos de onda.

De facto, no quadro da exploração espacial, a radiação electromagnética revela-se um dos mais importantes para a detecção remota passiva. Neste sentido, (Walford, 2002:53) enfatiza que, “a chave para um sistema de detecção remota ambiental é a detecção da REM reflectido por características terrestres ou pela própria superfície terrestre”.

Em termos gerais, a radiação electromagnética desempenha uma função de grande importância em detecção remota, no sentido em que possibilita o reconhecimento das características dos objectos presentes na superfície terrestre, através da troca de informação por via da radiação electromagnética. Casimiro (2002:50) enfatiza a ideia de que, “a transferência de informação entre o objecto e o sensor é efectuada através de radiação electromagnética”.

Curran (1985:9) salienta que a radiação electromagnética representa a “ligação entre os componentes dos sistemas de detecção remota” (subentenda-se a ligação entre os objectos presentes na superfície terrestre e o sensor que efectua a leitura dos dados recolhidos).

Neste contexto, não podemos deixar de referir que, de ponto de vista energético, na natureza a energia pode assumir uma variedade enorme, expressando-se em diferentes estados ou formas. Neste sentido, Barret e Curtis (1999:23) *apud* Casimiro (2002:59) defendem que, a energia “pode existir numa variedade de formas, incluindo energia química, eléctrica, calorífica ou mecânica.

Durante a realização do trabalho, a energia tem que ser transferida de um corpo ou um lugar para outro. Tais transferências são efectuadas por:

- Condução – Envolve colisões atómicas ou moleculares;
- Convecção – Modo corpuscular de transferência no qual os corpos de material energético são fisicamente movimentados;
- Radiação – Única forma pela qual a energia electromagnética pode ser transferida através de um qualquer meio ou do vácuo.

É este tipo de transferência que interessa primeiramente aos estudos de teledetecção”.

A radiação electromagnética pode ser definida como um elemento particularmente útil para a detecção remota, dado que, corresponde a um meio de transporte das características físicas dos objectos em estudo, resultantes da interacção da energia com a matéria.

De acordo com os princípios da física, a radiação electromagnética é descrita por duas ondas perpendiculares entre si, uma eléctrica e outra magnética, transversais ao movimento da onda. Na verdade, é “uma forma dinâmica de energia capaz de propagar

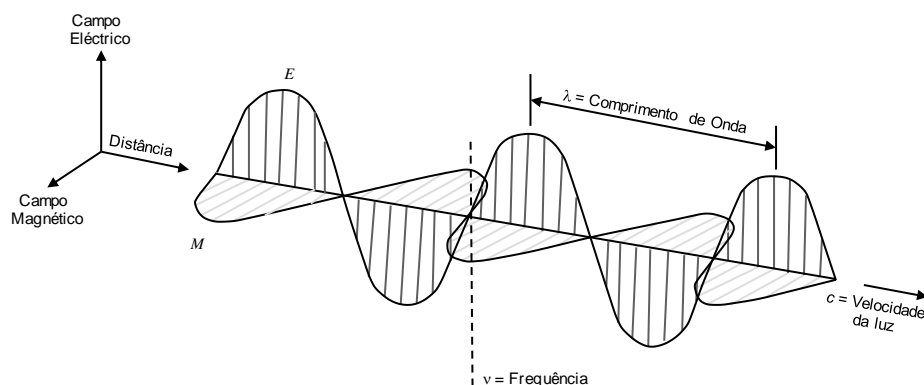
no vácuo e ainda tornar-se aparente através da interacção com a matéria” (Suits, 1983 *apud* Ben-Doret.al, 1999:120).

De ponto de vista da sua génese, a radiação electromagnética pode ser caracterizada por dois modelos fundamentais que traduzem a sua essência: 1) o modelo das partículas e 2) o modelo das ondas. De uma forma geral, o modelo das partículas enaltece a ideia de que a radiação electromagnética é composta por “imensas” unidades discretas, denominadas por fótons ou quanta, que se caracterizam como meio de transporte da energia desde a fonte (Sol) até ao destino e possuem a particularidade de não conter a massa.

A teoria das ondas, tal como descrito na figura 5, baseia-se no pressuposto de que, a radiação electromagnética manifesta-se através da interacção entre duas ondas (Eléctrica e Magnética), perpendiculares entre si e transversais ao movimento geral da onda, cuja distância entre os picos de ondas sucessivas se designa de comprimento de onda (λ).

Muito embora as definições atrás tenham referido ainda que de forma implícita esse aspecto, torna-se necessário aqui reforçar a particularidade de que, o modelo das ondas baseia-se sobretudo, no resultado da oscilação entre um campo eléctrico e o campo magnético perpendiculares entre si. As características dessas oscilações, só são possíveis de determinar, após o contacto das partículas com a matéria.

Figura 5: Onda electromagnética



Adaptada de Lillesand *et. al* (2015:5).

Quando se trabalha com a onda electromagnética um dos aspectos fundamentais a ter em consideração é sobretudo, a frequência de propagação. Na verdade, a frequência da onda electromagnética, pode ser descrita por número de vezes por segundo que um pico passa por um ponto fixo.

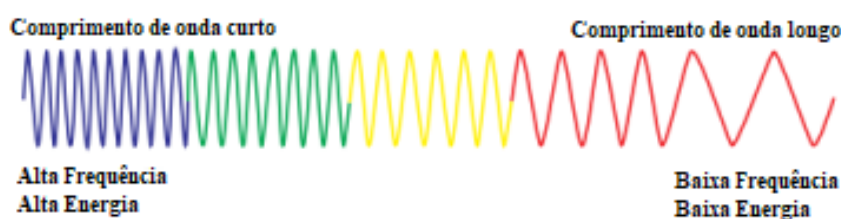
Partindo desse pressuposto, podemos caracterizar uma onda electromagnética pela sua velocidade (c), que num sentido mais restrito, é equivalente a frequência (ν) vezes o comprimento de onda (λ). Assim, pode-se descrever uma onda electromagnética por:

$$c = \nu \cdot \lambda \quad \text{Eq: 1}$$

Onde, c = velocidade da luz; ν = Frequência; λ = Comprimento de Onda. Com base na teoria das ondas, é possível estabelecer uma relação entre a energia, frequência e comprimento de uma onda electromagnética. Na verdade, essa relação é visível através da intensidade de frequência, energia e a extensão da onda.

Segundo Bakker *et. al* (2001:54), quanto “mais curto” for o comprimento de onda, mais elevada é a energia e a frequência desse comprimento de onda. Por outro lado, quanto mais longo for, mais baixa é a energia e a frequência do comprimento da onda (ver figura 6).

Figura 6: Relação entre a energia, frequência e comprimento de onda

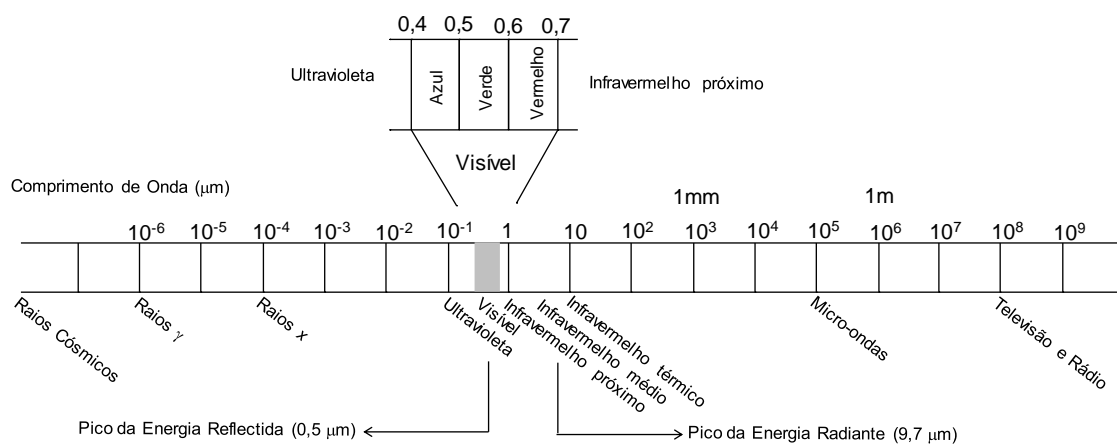


Fonte: Bakker *et. al* 2001: 54

Uma das formas estabelecidas para caracterização da radiação electromagnética em detecção remota é, por intermédio do espectro electromagnético. Por norma, o

espectro electromagnético, apresenta o comprimento de onda para cada “região espectral” (ver figura 7).

Figura 7: Espectro electromagnético



Adaptada de Sabins (2007:4)

De facto, existem muitas regiões que compõem o espectro electromagnético, podendo assim, decompôr-se em regiões do visível, raios ultravioleta, ondas de radio, raios-X entre outras. Embora, distintas no que respeita as medidas de comprimento de onda, é de sublinhar que, todas elas apresentam semelhanças em termos de propagação. Como referem Lillesand *et al*; (2015:4) “Todas essas energias são inerentemente similares e propagam-se de acordo com a teoria básica das ondas”.

Devido à enorme limitação das capacidades do ser humano em utilizar todas as bandas do espectro electromagnético na mesma proporção e frequência, importa referir que em detecção remota, existe um conjunto de bandas mais utilizadas, relativamente ao conjunto apresentado na figura anterior. Este facto resulta, sobretudo, da sensibilidade do olho humano em ler as informações contidas nas outras bandas, recorrendo assim ao uso da Detecção Remota para decodificar essas informações.

Com base nessa limitação, no quadro 7 encontram-se exemplificadas todas as regiões que constituem o espectro electromagnético, e os respectivos comprimentos de onda que caracterizam cada uma delas, de forma a facilitar a compreensão e as particularidades de cada região.

Quadro 7: Regiões espectrais.

REGIÃO	COMPRIMENTO DE ONDA	OBSERVAÇÕES
Raios Gama	<0.03 nm	Radiação recebida completamente absorvida pela atmosfera superior e não disponível para controle remoto de detecção
Raio-X	0.03 – 30 nm	Completamente absorvido pela atmosfera. Não empregado na detecção remota
Ultravioleta	3 a 400 nm ou 0.003 a 0,4 μm	Comprimentos de onda recebidos menos de 0,3 μm completamente absorvido pelo ozônio na atmosfera superior.
Banda Ultravioleta fotográfico	0003 – 0,4 μm	Transmitido através da atmosfera. Detectada com filme e fotodetectores, mas a dispersão atmosférica é grave.
Visível	400 nm – 700 nm ou 0,4 – 0,7 μm	Imagem com filme e fotodetectores. Inclui pico de energia reflectida da Terra às 0,5 da manhã
Infravermelho	0,7 – 300 μm	A interacção com a matéria, varia de acordo com Comprimento de onda. Transmissão atmosférica as janelas são separadas por bandas de absorção.
Infravermelho reflectido	0,7 – 3,0 μm	Radiação solar reflectida que não contém informações sobre propriedades térmicas dos materiais. O intervalo de 0,7 a 0,9 μm é detectável com filme e é chamada de banda fotográfica de RI.
Infravermelho térmico	3 – 5 μm , 8 - 15 μm	Principais janelas atmosféricas na região do térmico. As imagens nesses comprimentos de onda são adquiridas por scanners óptico-mecânicos e sistemas especial vidicon, mas não por filme.
Far Infrared (FIR)	15 μm – 300 μm	- - -
Micro-ondas	0,1 – 100 cm	Longos comprimentos de onda que podem penetrar em nuvens, neblina, e chuva. As imagens podem ser adquiridas em modo activo ou modo passivo.
Radar	0,1 – 100 cm	Forma activa de detecção remota por micro-ondas. Radar as imagens são adquiridas em várias bandas de comprimento de onda
Radio	1 m – 10 km	Porção de maior comprimento de onda do espectro electromagnético

Adaptado de Sabins (2007:4)

Após a análise das regiões espectrais, torna-se imprescindível destacar o facto da atmosfera terrestres não afectar de forma linear as diferentes regiões do espectro. Na verdade, “a atmosfera terrestre não intercepta a radiação electromagnética para uma extensão uniforme ao longo da gama completa do espectro electromagnético, o que resulta em certos grupos de comprimentos de onda, favorecidos para efeitos de detecção remota” (Walford, 2001:57).

Partindo desse pressuposto, é de sublinhar que, a ideia atrás, determina de certa forma a predominância de algumas regiões em relação a outras. Assim sendo, neste estudo, destacamos as regiões que apresentam maior destaque para a detecção remota passiva, devido a crescente utilização das mesmas em diferentes estudos:

Região do Infravermelho térmico ($3 - 5 \mu\text{m}$, $8 - 14 \mu\text{m}$). Denomina-se de infravermelho térmico no sentido em que uma grande parte da radiação emitida pela superfície terrestre é detectada nessa região do espectro;

Região do Infravermelho reflectido ($0.7 - 3.0 \mu\text{m}$), esta região apresenta uma enorme capacidade em discriminar regiões com alto teor de humidade e lugares ricos em vegetação;

Região do visível ($0.4 - 0.7 \mu\text{m}$) caracteriza-se, por ser a única região cuja detecção é possível através do olho humano. Uma das características fundamentais dessa região refere-se ao conjunto de três bandas espectrais (azul $0.4 - 0.5 \mu\text{m}$; verde $0.5 - 0.6 \mu\text{m}$ e vermelho $0.6 - 0.7 \mu\text{m}$), cuja combinação, constitui a realidade interpretada pelo olho humano.

II. 2.2.2. Tipos de Sensores de Detecção Remota

“Os sensores que registam imagens de Detecção Remota são transportados por satélites artificiais da Terra, com formas muito diversas, que se deslocam a diferentes velocidades, e cujas órbitas se desenvolvem a altitudes diferentes. As características das plataformas e das suas órbitas condicionam as imagens adquiridas pelos sensores colocados a bordo” (Fonseca, 2004:25).

Embora as características atrás descreverem apenas os sensores orbitais artificiais, importa destacar a existência de dois tipos de sensores de Detecção Remota, podendo os mesmos assumir duas características fundamentais: activos e passivos. Os sensores activos referem-se a todos aqueles cuja capacidade permite-lhes criar as suas próprias fontes de energia, sendo que no caso específico, referimo-nos ao radar e laser.

Os sensores activos possuem a particularidade de emitir pulsos e receber eco dos objectos a superfície. Essa emissão pode ser efectuada utilizando para tal uma aeronave para sobrevoar e realizar o registo (“disparos”) sobre a área de interesse. Neste contexto,

nos pontos que se seguem, serão descritas as características dos sensores acima mencionados com a finalidade de compreender melhor as particularidades de cada um.

II. 2.2.2.1. Radar

Como foi mencionado atrás, basicamente, os sensores activos referem-se a todos aqueles cuja capacidade permite-lhes criar fontes de energia independente da luz solar. Curran (1985:18) alega que os sensores activos transmitem, “pequenos impulsos de energia nos comprimentos de onda do Microondas para o solo e, em seguida, grava, primeiro, o tempo que tomou para que o pulso atinja o objecto e volte e, em segundo lugar, a força e a origem da “retrocessão” ou “eco” recebidos de objectos dentro do campo de visão do sensor”.

Assim sendo, é de referir que os sensores activos possuem a capacidade de operar em condições adversas sem que os resultados obtidos sejam afectados pela não dependência da luz solar. De forma simplificada, a figura abaixo demonstra a recolha de informação com recurso a um sensor activo (radar) acoplado numa aeronave (ver figura 8).

Figura 8: Propagação do Pulso de Radar e o seu retorno a sensor



Adaptada de Curran, 1985:18

A figura 8, de uma forma geral traduz a recolha de imagem por um sensor radar. Neste contexto, admite-se facilmente que um sensor radar consiste num aparelho de medição da distância entre a antena e um objecto presente na superfície terrestre (a designada faixa inclinada).

Basicamente, o radar associa-se a um tipo de instrumento que integra vários componentes: um transmissor, uma antena, um receptor e um gravador. De ponto de vista de funcionamento, “o transmissor é usado para gerar o sinal de Microondas e transmitir a energia para a antena de onde é emitida para a superfície da Terra. O receptor aceita o sinal retrodispersado como recebido pela antena, filtra e amplifica-o conforme necessário para a gravação. O gravador armazena o sinal recebido. O radar de imagem adquire uma imagem na qual cada *pixel* contém um número digital de acordo com a força da energia retrodispersada que é recebida do solo”, (Bakker *et. al*, 2001: 215).

Neste contexto, é de sublinhar que em Detecção Remota activa, a recolha de informação também pode ser feita por via de emissão de feixes de Laser. Uma das tecnologias promissoras nesse domínio é indubitavelmente a do *LiDAR (Light Detection and Ranging)*.

II. 2.2.2.2. LiDAR

Tal como o radar, a noção de sistemas topográficos *LiDAR (Light Detection and Ranging)*, associam-se a um tipo de sistema baseado na emissão de pulsos de laser e na medição do eco obtido por intermédio de sistemas receptores dos pulsos emitidos aquando da recolha de informação.

Os sistemas *LiDAR* são considerados da mesma família dos sensores radar, no sentido em que, tanto um como o outro funcionam de forma activa, isto é, produzem as suas próprias fontes de energia, não necessitando da energia solar para produzir uma imagem. Tais características permite-lhes, “comparar as características da energia transmitida e recebida – o tempo de pulsos, os comprimentos de onda e os ângulos – para que possam avaliar não apenas o brilho da retrodifusão, mas também a posição angular, as mudanças de frequência e a temporização da reflexão dos pulsos” (Campbell, and Wynne, 2011:243).

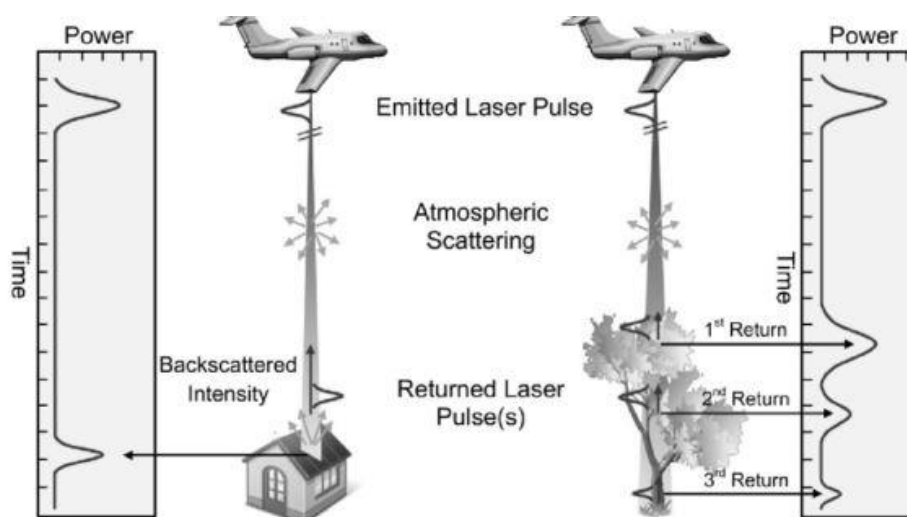
Mais detalhe sobre essa técnica pode ser encontrado em Rebelo (2016:31). Na verdade, a autora utilizou uma metodologia baseada em dados *LiDAR* e dados *UAV*

(*Unmanned Aerial Vehicle*) para extracção de parâmetros de edifícios. De uma forma geral, propôs uma metodologia centrada na extracção dos parâmetros de edifícios resultantes de nuvens de pontos 3D¹⁵ provenientes da aplicação do sistema *LiDAR*.

Uma das principais formas de actuação desse sistema é através de emissão de pulsos de laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*, na língua inglesa) (ver figura 9).

Inventada nos anos 1950, só recentemente (década de 1980) tem sido utilizado no domínio de Detecção Remota, facto que se deveu a recente desenvolvimento dos sistemas *LiDAR*. Na verdade, no final dos anos 1980, “ várias tecnologias amadureciam e convergiam para criar o contexto para o desenvolvimento de sistemas de *LiDAR* de precisão que agora conhecemos”(Campbell, James B; Wynne, 2011:245)

Figura 9: Pulsos lasers e os respectivos retornos de edifício e árvores.



Fonte: Rebelo, 2016:32

Sem querer aprofundar muito sobre esta tecnologia e a constituição do mecanismo laser, no sentido em que sairia fora do âmbito desta tese, ainda assim, e de acordo com o descrito na figura anterior, torna-se fundamental destacar o modo de actuação do laser.

Assim, e atendendo a sua própria natureza, o mecanismo de laser funciona do seguinte modo: “O movimento oscilante do espelho varre o raio laser de lado a lado ao

¹⁵ As nuvens de pontos 3D são obtidas através dos pontos X, Y e Z obtidos por via de medição efectuado pelo sistema.

longo do eixo transversal da imagem, registrando muitos milhares de retornos por segundo. Como um *scanner LiDAR* está bem integrado com *GPS*, *IMU*¹⁶ e sistemas de temporização, esses pulsos podem ser associados a pontos específicos na superfície da Terra” (Campbell, James B; Wynne, 2011: 246).

No que respeita ao número de pulsos emitidos, estes, podem superar aos 300 por segundos, dependendo da aplicação do sistema. Quanto aos resultados dos pulsos emitidos, uma vez que o sistema *LiDAR* não produz imagens tal como o sistema convencional, os resultados, traduzem-se assim, em uma elevada densidade de nuvens de pontos usados como ferramenta para análise.

Outra forma de obter informação espacial, é através de veículos aéreos não tripulados (na língua inglesa *Unmanned Aerial Vehicle -UAV*).

II. 2.2.2.3. *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Outra opção tecnológica largamente utilizada para a produção de nuvens de pontos tridimensionais (3D), é o veículo aéreo não tripulado¹⁷. Inicialmente utilizados para fins de reconhecimento militares em situações perigosas e difíceis, têm vindo a sofrer significativas alterações de forma a responder as necessidades e recentes desafios que têm surgido, sobretudo, no âmbito do uso civil.

Tal como muitas tecnologias, o uso civil tem contribuído significativamente para o “alargamento” de aplicações destes veículos. Assim, um dos aspectos que teve um papel fundamental nessa tendência foi sem dúvida o desenvolvimento de câmaras digitais. Na verdade, estes e outros aspectos possibilitaram um uso alargado dessa tecnologia em diferentes áreas de saber.

O termo Veículo aéreo não tripulado designa, o conjunto de elementos dos quais se destacam a aeronave, o comando de controlo remoto e o mecanismo de recolha de imagem ou câmara digital.

Apesar de enormes potencialidades que estas tecnologias apresentam, os seus valores e contributos residem na “oportunidade que proporcionam aos investigadores para

¹⁶ *IMU* da língua inglesa, *Inertial Measurement Unit*.

¹⁷ Da família de *Unmanned Aircraft System (UAS)* que inclui o *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, o controlador no terreno e um sistema de comunicação entre os dois.

coordenar de perto as operações do *UAV* com as imagens de escala mais ampla adquiridas por aeronaves ou sistemas de satélites”(Campbell e Wynne, 2011:390).

Embora apresentem uma baixa expressão no que toca ao uso civil, salienta-se que os veículos aéreos desempenham um papel significativo em áreas como: desastres naturais, agricultura de precisão, gestão florestal, estudos urbanos, monitorização de gasodutos e oleodutos, geologia, arqueologia, busca e salvamento entre outras áreas.

Uma das razões que suscitou uso considerável dessa tecnologia prende-se com o baixo custo dos mesmos, a rapidez na implementação da tecnologia na área em estudo, fácil aquisição, transporte e interpretação dos resultados obtidos entre outros aspectos.

De facto, o uso crescente dos veículos aéreos não tripulados prende-se, numa primeira abordagem, com o facto de estes constituírem uma alternativa as imagens de satélites e por outro, a relativa facilidade com que se possa trabalhar com estas tecnologias e o baixo custo das mesmas, permitindo assim uma complementaridade de informações recolhidas por esses veículos e os satélites de detecção remota.

Relativamente ao modo de operação, destaca-se o seguinte, os *UAVs* actuam “perto das superfícies que observam, podem obter dados auxiliares, como temperatura, concentrações de CO₂, nível de humidade ou outras informações relacionadas ao assunto sob investigação. Além disso, têm a capacidade de monitorar sítios com mais frequência do que seria possível com outros sistemas e responder rapidamente a eventos inesperados” (Campbell e Wynne, 2011:390).

No seguimento do que foi apresentado atrás, admite-se que, em termos de aplicações de veículos aéreos não tripulados como mecanismos de recolha de informação, podem servir de suporte a estudos de diferentes temáticas no âmbito de Detecção Remota, constituindo assim uma alternativa viável, capaz de responder em tempo útil às situações que requerem uma resposta rápida por parte dos decisores.

Não obstante, é oportuno referir que o uso civil dos veículos aéreos não tripulados, ainda se encontra numa fase recente, sobretudo para as áreas relacionadas com a agricultura de precisão, inventário florestal entre outras.

Relativamente aos sensores passivos, encontram-se todos os que recebem a energia proveniente do sol. Porém, a dependência da radiação solar, condiciona em muitos casos as características das imagens utilizadas. Na verdade, existem duas situações onde se pode verificar essa condição, i) na quantidade de nuvens presentes na imagem a

analisar e ii) nas condições de iluminação resultante da presença de elementos ou componentes atmosféricos nas imagens, podendo em muitos casos desempenhar uma influência significativa na radiação incidente.

II. 2.2.3. Influência atmosférica na radiação electromagnética incidente

Toda a energia emitida pelo Sol ou pela superfície terrestre interage com diferentes fenómenos ao atravessar a atmosfera. Tal processo desempenha um papel fundamental na imagem de Detecção Remota passiva, dado que, o contacto com os fenómenos presentes na atmosfera, é suficientemente forte para determinar a qualidade da imagem e a exactidão da classificação e interpretação dos resultados.

Numa perspectiva de síntese, Bakker *et. al*, (2001:61), salientam que, “antes da energia atingir a superfície terrestre verificam-se três interacções possíveis na atmosfera: absorção, transmissão e dispersão”. Após alcançar a superfície terrestre, essa energia pode ser absorvida ou reflectida em direcção ao sensor que procede ao registo através dos valores digitais.

Na verdade, a oscilação energética (fonte – superfície terrestre e superfície terrestre – sensor) e a interferência atmosférica na quantidade de energia que chegue ao destino podem ser melhor compreendidas se considerarmos a interacção energética não só com o topo de atmosfera, mas também ao longo de todo o percurso, até ao sensor. Efectivamente, a questão em torno da oscilação energética e imagens ou fotografia espacial ou aérea, têm sido temas recorrentes em Detecção Remota e fortemente abordados no meio científico.

Neste contexto, Lillesand *et. al* (2015:9), referem que, “a fotografia espacial resulta da luz solar que atravessa toda a espessura da atmosfera terrestre duas vezes na viagem da fonte ao sensor”. Os mesmos autores afirmam que, “o efeito da atmosfera varia com as diferenças no comprimento do caminho e também varia com a magnitude do sinal de energia detectado, as condições atmosféricas presentes e os comprimentos de onda envolvidos”.

Por sua vez, Fonseca, Fernandes; (2004:10) , enfatizam a ideia de que, “a interacção da REM com a atmosfera dá-se por absorção e dispersão”¹⁸. Partindo desta

¹⁸ Tais processos desempenham um papel de grande importância na quantidade de energia que chega ao sensor. Na verdade, a **absorção** tem influência na quantidade de energia, no sentido em que altera parte da

afirmação, é de salientar que, a energia emitida pela fonte primária (Sol) em direcção à Terra propaga-se e interage com as diferentes matérias, “embora, a velocidade de propagação da radiação electromagnética não seja afectada pela Atmosfera, esta afecta outras características desta forma de propagação de energia, incluindo a direcção da radiação, a sua intensidade, o comprimento de onda e frequência recebidas pelo alvo na base da Atmosfera e a distribuição espectral da energia radiante. Assim, essa energia é difundida (*scattering*), refractada, absorvida e emitida pela própria Atmosfera” (Casimiro, 2002:63).

Com base na ideia atrás apresentada, entendemos ser imprescindível demonstrar os diferentes processos de interacção da radiação electromagnética não apenas com o topo da atmosfera, mas também, com a matéria presente na superfície e a própria superfície terrestre.

Efectivamente, a atmosfera desempenha um papel de grande importância na quantidade e “qualidade” de energia incidente juntamente com outros diferentes processos de interacção. Na verdade, toda a radiação electromagnética interage com a atmosfera antes e depois de atingir a superfície terrestre. Esta interacção afecta sobretudo, a direcção da radiação, podendo também alterar a distribuição espectral da mesma.

Progressos científicos e avanços da Detecção Remota permitiram uma melhor compreensão do comportamento atmosférico na qualidade de imagens. O efeito atmosférico sobre a radiação pode ser originado por diferentes tipos de distorções que afectam a imagem. Em Detecção Remota, o efeito atmosférico pode manifestar-se sob quatro tipos de distorções (*Rayleigh, Mie, Non-selective, Raman*) (ver quando 8).

energia emitida pelos objectos na superfície terrestre, fazendo com que esta não atinja os sensores. Por sua vez, a **dispersão**, processo que se expressa por duas formas: 1) dispersão da radiação electromagnética na atmosfera e 2) parte da energia proveniente dos objectos na superfície terrestre, não alcança o sensor.

Quadro 8: Tipos de Distorções.

Tipo de Dispersão	Tamanho das partículas atmosféricas efectivas	Tipo de partículas atmosféricas efectivas	Dispersão	Efeito da Dispersão e comprimento de onda quase visível
<i>Rayleigh</i>	Menor que o comprimento de onda da radiação. Geralmente $<0,1 \lambda$	Moléculas de Gás	Molécula absorve radiação de alta energia e reemite. A Dispersão é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda	Afecta os comprimentos de onda curtos visíveis, resultando em neblina na clarabóia fotográfica e nos céus azuis.
<i>Mie</i>	O mesmo tamanho que o comprimento de onda da radiação	Partículas esféricas de Vapor, fumos e poeiras	Dispersão física sob céus nublados	Afecta longos comprimentos de onda visíveis
<i>Non-Selective</i>	Maior que o comprimento de onda da radiação	Gotas de água e Poeira	Dispersão física por neblina e nuvens	Afecta todos os comprimentos de onda visíveis igualmente, resultando em névoa branca e nuvens
<i>Raman</i>	Qualquer	Qualquer	O fóton tem colisão elástica com a molécula, resultando em perda ou ganho de energia; isso pode diminuir ou aumentar o comprimento de onda	Variável

Fonte: Curran, 1985:54

Os efeitos atmosféricos no quadro 8 podem variar em função do tipo de distorção em causa. Assim sendo, entendemos ser absolutamente necessária aqui, definir os quatro tipos de distorções atrás mencionados.

- i. ***Rayleigh***. Este tipo de distorção é originado por moléculas de gases que distorcem a radiação electromagnética com comprimentos de onda inferiores (verifica-se sobretudo, nas situações em que as partículas são

muito pequenas relativamente ao comprimento de onda da radiação). Um dos resultados visíveis deste tipo de distorção é apresentado sob os efeitos que originam a cor azul do céu. A “força” dessa dispersão é inversamente proporcional a quarta potência do comprimento de onda da radiação electromagnética Lillessand *et.al* (2015:9), Fonseca (2004:12);

- ii. **Mie.** A dispersão de Mie corresponde a um processo que se caracteriza por baixa dependência do comprimento de onda, apresenta uma dependência fraca relativamente a dispersão de *Rayleigh*. É uma dispersão que se manifesta sob as partículas constituintes por aerossóis, fortemente dependente das particularidades físicas, nomeadamente: a composição química das partículas, a sua distribuição espacial a dimensão das partículas (um factor relevante, dado que a dispersão de Mie ocorre quando a dimensão das partículas é da ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação) entre outros aspectos;
- iii. **Non-Selective.** Ocorre quando o diâmetro das partículas que causam a dispersão são maiores que os comprimentos de onda da energia detectada. Consequentemente, esta dispersão é não selectiva em relação ao comprimento de onda. Um dos efeitos práticos deste tipo de dispersão manifesta-se nos comprimentos de onda visíveis, em que, a mesma proporção de luz azul, verde e vermelha são dispersas, daí a origem do termo não-selectiva;
- iv. **Raman.** Neste tipo de dispersão, a energia incidente apresenta uma característica distinta da energia dispersa, permitindo assim, que as características dos objectos possam ser conhecidas. Por outras palavras, a frequência energética incidente ao alterar-se no momento do contacto com os objectos, possibilita o conhecimento das propriedades molecular dos mesmos.

Após esta breve descrição, refira-se que as quatro distorções desempenham um papel relevante no resultado produzido, condicionando deste modo a análise dos resultados obtidos. Assim, a análise dos resultados deve levar em consideração todas as características da imagem, e em particular os tipos de distorções que a mesma apresenta, sem, no entanto, esquecer o denominado efeito atmosférico.

Outro factor importante e com uma forte influência nas imagens de Detecção Remota designa-se por janela atmosférica. Numa imagem, a janela atmosférica apresenta um comportamento raramente linear, dado que, depende de inúmeros factores, nomeadamente, o objecto em estudo, as características dos sensores utilizados, os objectivos do estudo e a data de aquisição das imagens. Ganha particular importância, dado que corresponde a áreas do espectro electromagnético pouco influenciadas pelos processos de absorção atmosférica, sendo por essa razão, bastante úteis a Detecção Remota passiva.

De uma forma geral, as janelas atmosféricas, correspondem as áreas do espectro onde o pico da irradiação solar é mais expressivo, e também, onde de uma forma natural, os nossos olhos apresentam maior sensibilidade face a energia emitida pelo sol. Tais particularidades desempenham um papel relevante nos resultados obtidos pós classificação de uma imagem e consequentemente no comportamento da radiação electromagnética com a matéria (objectos).

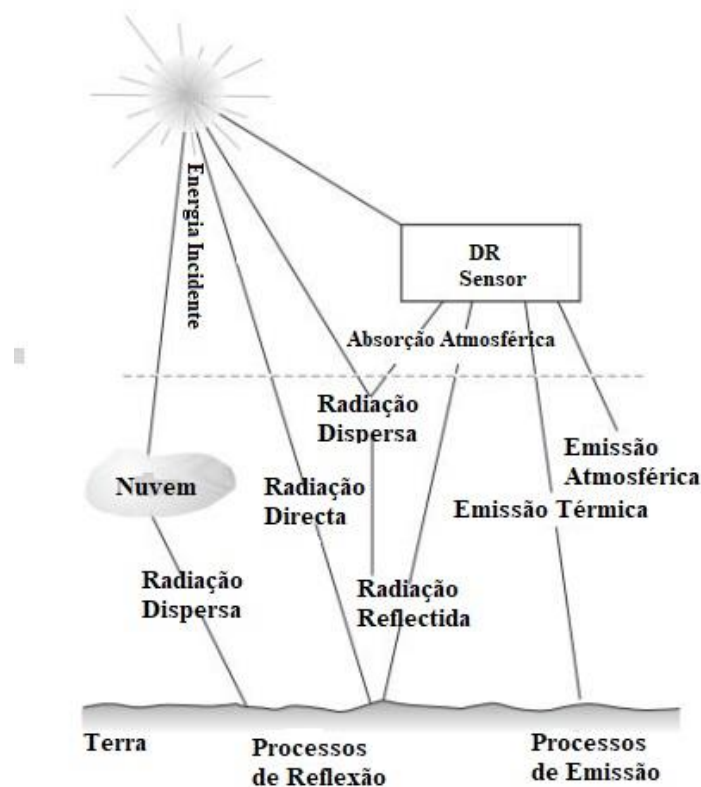
II. 2.2.4. Interacção da radiação electromagnética com a matéria

Em Detecção Remota, a fonte energética mais importante é indubitavelmente o sol. De acordo com os princípios da física, a radiação electromagnética emitida pelo sol apresenta uma consistência na sua estrutura durante todo o percurso efectuado até atingir uma “barreira”, isto é, a energia preserva a mesma característica até entrar em contacto com a matéria.

Existem diferentes processos de interacção da energia com a matéria ao longo da atmosfera e superfície terrestre. A figura 10 apresenta de forma simplificada os diferentes processos. De acordo com o descrito na figura, a energia electromagnética emitida pelo sol, interage com a matéria de diferentes formas, podendo ser por:

Transmissão, isto é, um processo que consiste na passagem de energia de uma fonte para um dado objecto. Sendo que essa energia, sofre algumas alterações nas suas características ao longo de todo o processo;

Figura 10: Processos de interacção da energia electromagnética e a matéria.



Adaptada de Bakker 2001:62

Emissão, processo que se manifesta em longos comprimentos de onda, consiste em grande parte, na densidade de um fluxo radiante que parte de uma unidade de área de uma dada superfície plana;

Absorção, ou seja, um processo que consiste na transferência da energia para a matéria. Segundo as leis da física, a energia transferida pelos fotões em direcção a matéria sob a forma de energia cinética de partículas carregadas, parte dela é absorvida pela matéria, resultante da interacção entre ambos;

Reflexão, isto é, retornou da superfície de um material com o ângulo de incidência. A reflexão é causada por superfícies lisas em relação ao comprimento de onda da energia incidente. A polarização, ou a direcção da vibração, das ondas reflectidas podem diferir da onda incidente.

Difusão, isto é, desviado em todas as direcções. As superfícies com dimensões de alívio ou rugosidade, comparáveis ao comprimento de onda da produção de energia

incidente, produzem espalhamento. As ondas de luz são espalhadas por moléculas e partículas na atmosfera, cujos tamanhos são semelhantes aos comprimentos de onda da luz;

Posto isto, é de referir que, relativamente ao peso de cada processo, todos eles desempenham um papel importante para a Detecção Remota, no sentido em que a conjugação de todos os processos acaba por se verificar na quantidade de energia que chega ao sensor, condicionando a partida, a exactidão e a classificação da imagem.

De facto, ao longo da sua trajectória, a energia sofre uma forte interferência na sua intensidade, distribuição espectral e o sentido dos raios incidentes. Tal interferência é vista, tanto no sentido “topo – base, como base – topo”. Assim, a energia que atinge a superfície terrestre e a energia que é detectada pelo sensor, é fortemente atenuada nos dois sentidos, condicionando desde já a quantidade energética que o sensor deveria receber.

Nesta linha de raciocínio, Casimiro (2002:61) refere que a “ radiação que atrevesou a atmosfera e a detecção que o sensor faz desse objecto, pressupõe também um trajecto de regresso entre o alvo e o próprio sensor. Este trajecto pode ser novamente toda a a Atmosfera, no caso de um satélite, ou parte dela no caso, por exemplo, da fotografia aérea de média altitude”.

Posto isto, é de salientar que, geralmente, a caracterização de todo o processo, considera a interacção da radiação com a atmosfera e superfície terrestre, como um processo absolutamente natural no domínio da Detecção Remota passiva.

No tocante, ao processo de aquisição da energia por parte do sensor de imagem, até a sua conversão em produto final, o processo desencadeia-se da seguinte forma, a radiação solar incidente no topo da atmosfera e posteriormente reflectida pela superfície terrestre é convertida em valores digitais por parte dos sensores. Na verdade, “os dados de Detecção são mais que uma imagem, são medidas de radiação electromagnética, armazenadas em formato matricial (Raster). Um único elemento de imagem é designado de *pixel*, uma contracção de “elemento de imagem”.

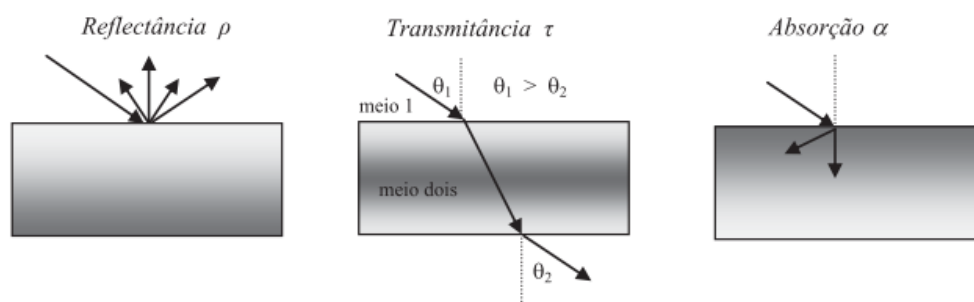
Para cada *pixel*, as medições são armazenadas como níveis radiométricos ou números digitais (DN)¹⁹ (Bakker *et al.*, 2001:114). Em termos gerais, a leitura de

¹⁹ Na língua inglesa, denomina-se por *Digital Number*.

qualquer fenómeno de detecção remota, depende em grande parte das medições efectuadas por parte dos sensores e, sobretudo, da capacidade de resposta espectral dos objectos presentes na superfície terrestre, por via de reflexão, transmissão e absorção, resultantes da quantidade de luz solar recebida.

Neste contexto, Meneses e Almeida, (2012:42), sugerem que, “a luz solar, que é a que mais revela as propriedades das naturezas dos materiais, ao incidir sobre a superfície do objecto sofre três possíveis processos de interações” reflexão, transmissão e absorção, (ver figura 11).

Figura 11: Processos de interacção da radiação electromagnética com os objectos.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012:42

Com base nos argumentos acima apresentados, é lícito afirmar que, a resposta espectral dos objectos, depende em grande medida da composição dos mesmos, da exposição solar dos mesmos, da situação geográfica, do tipo de material, entre outros aspectos.

Em Detecção Remota, é comum a extracção de informações referentes a Vegetação, linhas de Água e Solo. Tais objectos, embora de grande interesse nesse domínio, apresentam comportamentos distintos e em grande parte, difíceis de caracterizar devido a inúmeros factores. Apesar dos comportamentos distintos, salienta-se que, os objectos atrás mencionados apresentam uma resposta espectral dependente dos comprimentos de onda. Tal comportamento é designado de assinatura espectral.

De facto, cada um dos objectos expressa uma assinatura distinta, manifestando-se de forma completamente diferente. De modo a explicitar este facto, nos pontos abaixo,

serão descritos o comportamento dos três objectos frequentemente utilizados em Detecção Remota (Vegetação, Água e Solo)²⁰.

II. 2.2.5. Interação da radiação electromagnética com a Vegetação

O estudo e a caracterização da Vegetação em Detecção Remota correspondem a uma das tarefas extremamente difíceis e não linear. Ora, isto é particularmente verdadeiro dado que, inúmeros factores determinam/condicionam a resposta espectral dos/as corpos/massas vegetais, nomeadamente, situação geográfica, estações do ano, resposta espectral, teor em água, clorofila, grau de cobertura do solo entre outros, levando deste modo, a uma forte variação não apenas temporal, mas também espacial.

Como sugerem Fonseca, (2004:18), “as características espectrais do coberto vegetal existente na superfície terrestre variam consideravelmente no tempo e no espaço. Cada espécie vegetal apresenta características espectrais específicas, mas estas podem apresentar variações em função da zona geográfica em que a espécie se encontra e das estações do ano”.

Um dos problemas mais frequentes quando se trabalha com a resposta espectral da vegetação passa, sobretudo, pela enorme dificuldade em determinar um comportamento linear, devido, à existência de factores anteriormente mencionados. Porém, apesar das dificuldades em determinar um comportamento sequenciado da classe vegetação, existe uma forma mais fácil de caracterizar o comportamento da vegetação e está intrinsecamente ligada ao espectro electromagnético.

De facto, o comportamento da vegetação pode ser verificado em três bandas do espectro electromagnético, visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Neste contexto, destaca-se o facto de a vegetação apresentar uma resposta que pode ser entendida como a mais plausível e linear quando se estuda a cobertura vegetal com base nas diferentes porções do espectro electromagnético. De facto, a resposta da vegetação apresenta uma significativa variação, sobretudo ao longo das três porções do espectro electromagnético.

Retomando os argumentos acima mencionados, é de referir que tal comportamento constitui uma temática recorrente em Detecção Remota. Assim sendo,

²⁰ Chuvieco, E. (1995:56) denomina-os de, principais coberturas terrestres.

entendemos ser importante aqui, abordar as três porções do espectro em que é possível verificar um comportamento específico da vegetação. Posto isto, na região do espectro correspondente a:

Visível, a resposta espectral da vegetação é fortemente condicionada pela actividade clorofilina²¹ da vegetação. Nesta região em particular, a reflectância da vegetação é reduzida 0,38 – 0,7 μm , embora, contém uma pequena porção, onde esse facto é contrariado, que é dos 0,55 – 0,65 μm , onde se verifica a reflectância máxima da vegetação (correspondendo sobretudo a banda do vermelho).

Infravermelho próximo, nessa porção do espectro, o grande responsável pela resposta espectral da vegetação, é sobretudo, a composição interna da vegetação e não a actividade clorofilina tal como é frequente na região do visível. Na verdade, dada a reduzida capacidade em absorver a radiação nesta região, este facto, origina uma elevada reflectância da vegetação.

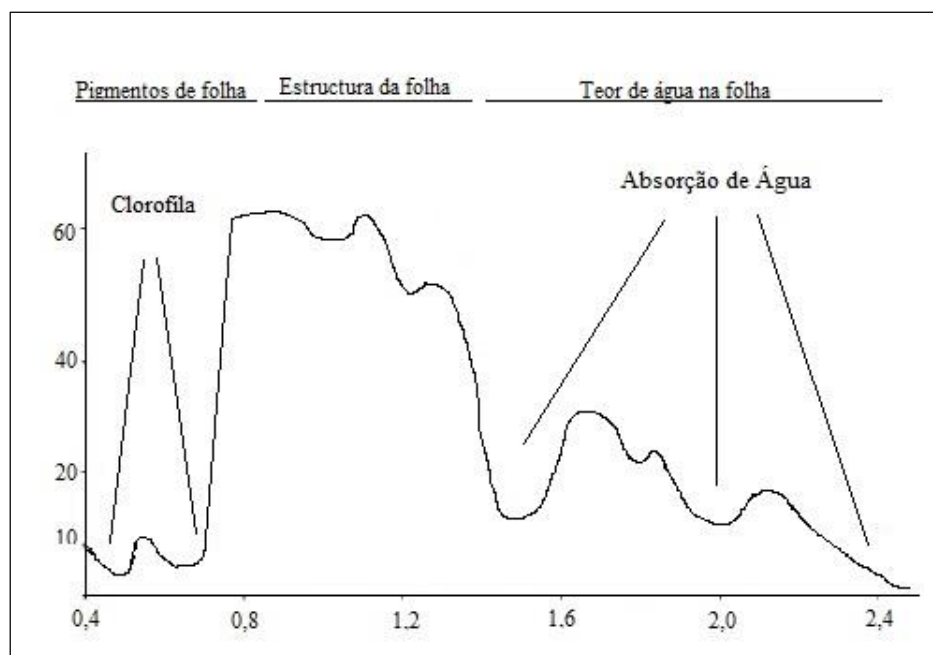
Infravermelho médio, a resposta da vegetação nesta região do espectro electromagnético, pode ser explicado sobretudo, pelo alto teor em água, o que por sua vez origina uma diminuição da reflectância. Este facto é expressivo “em três comprimentos particulares, nomeadamente, 1,4 μm , 1,9 μm , e 2,7 μm ” (Fonseca (2004:18).

Para compreendermos melhor o comportamento da vegetação no que respeita a reflectância espectral em diferentes parcelas do espectro electromagnético, a figura seguinte simplifica bastante a linha de argumentos atrás apresentada. (ver figura 12).

Após esta breve caracterização do comportamento da vegetação, pode-se concluir que, “recorrendo a um sensor com uma resolução espectral (capaz de detectar a radiância) nestas porções do espectro electromagnético, é possível discriminar diferentes espécies, diferentes estados de crescimento, de saúde, de suprimento em água e estados fenológicos. Este facto pressupõe que o sensor possa “ver” uma porção de espaço mínima (*pixel*) em que esta espécie cubra toda a superfície” (Casimiro, 2002:66).

²¹ A clorofila absorve fortemente a radiação electromagnética, particularmente nas “parcelas” que se estendem dos 0,45 aos 0,65 μm .

Figura 12: Assinatura espectral do comportamento da vegetação em diferentes porções do espectro electromagnético.



Adaptado de Chuvieco, (1995:64).

Contudo, outros aspectos devem ser levados em consideração, sobretudo, no que respeita a representatividade do *pixel* (subentenda-se a pureza do mesmo), a dimensão ou o grau de cobertura da vegetação numa dada porção do solo.

II. 2.2.6. Interação da radiação electromagnética com a Água

Considerando o comportamento da radiação electromagnética com a água, sublinha-se que, esta apresenta um comportamento distinto em relação à classe vegetação, na verdade, a água apresenta um comportamento distinto em relação às outras classes, devido, à sua elevada capacidade em absorver a radiação que recebe nas porções do espectro acima da região do Visível.

Porém, quando se estuda as características da água, a região do visível configura-se aquela que melhor informação fornece. Neste contexto, torna-se útil referir que, a presença de materiais nesta classe, proporciona uma alteração na resposta espectral da mesma. Tomemos como exemplo uma superfície pouco profunda. Nessas superfícies, a resposta espectral da água está fortemente ligada a resposta dos materiais que contém.

Conclui-se assim, que a assinatura espectral da água varia de acordo com o grau de elementos (materiais) que esta contém. Neste contexto, sublinha-se que “a turbidez causada por materiais orgânicos ou inorgânicos em suspensão é um dos principais factores que afectam a resposta espectral da água” (Fonseca e Fernandes, 2004:18).

São vários os condicionantes da resposta espectral da água, nomeadamente, a profundidade, a presença de materiais, a turbidez, entre outros. Relativamente a turbidez da água, em muitas situações encontra-se fortemente relacionada com a profundidade da superfície aquática, o que por sua vez, determina a sua reflectância, devido a presença de materiais nas profundezas.

Neste contexto, Chuvieco (1995:68) considera que, de um modo geral, “a profundidade da água influencia directamente a reflectância derivado a materiais dos fundos” com base nesta ideia, pode-se concluir que, em águas pouco profundas a reflectância tende a aumentar. De uma forma geral, a capacidade de água em reflectir a radiação é superior nas superfícies pouco profundas e menor nas superfícies profundas, onde naturalmente, a capacidade de absorção é consideravelmente superior, devido à presença de materiais.

A presença de materiais nas superfícies aquáticas é um bom indicador das bandas onde existe uma maior ou menor reflectância. Na verdade, quanto mais concentrado for a presença de materiais e concentração em clorofilas, menor é a reflectância da água sobretudo, na banda do azul, por outro lado, na banda verde, aumenta a capacidade em reflectir a radiação. A água é um elemento que pode “sofrer várias distorções” no seu comportamento, isto é, diferentes situações (turva, profundas, superficiais etc), naturalmente, diferentes assinaturas espectrais.

II. 2.2.7. Interação da radiação electromagnética com o Solo

O comportamento do solo com a radiação electromagnética, é bastante distinta comparativamente às outras duas classes mencionadas. Explicando este facto com um comportamento regular que se verifica na sua resposta espectral, algo difícil de registar quando, tratando-se das classes água e vegetação. Todavia, é de destacar a existência de vários factores que contribuem para a resposta espectral dos solos, nomeadamente, a textura, o teor em humidade, a sua cobertura por vegetação etc.

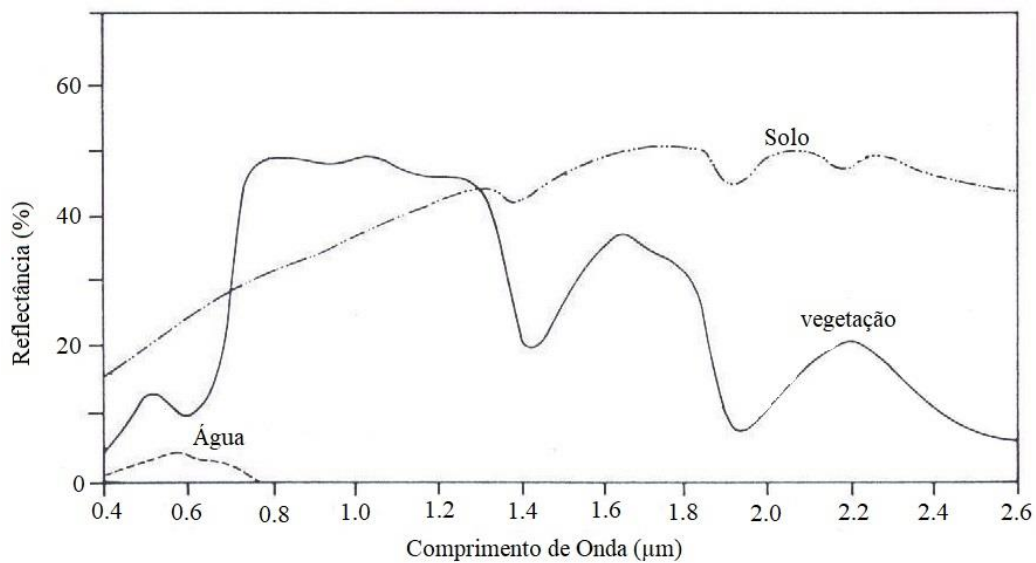
O estudo do comportamento do solo com a radiação electromagnética constitui uma tarefa extremamente difícil, devido, aos diferentes estados em que o mesmo se encontra no momento das medições por parte dos sensores. De uma forma geral, o comportamento espectral dos solos é idêntico ao comportamento da água, embora em sentido contrário, sendo fortemente condicionado pelos factores acima mencionados. Na verdade, os diferentes estados e a cobertura que contêm condicionam significativamente a sua assinatura espectral, sem esquecer a sua composição química.

A composição química dos solos funciona como um bom indicador do estado dos solos, fornecendo informações relevantes acerca do seu teor em água e humidade, factores que condicionam em certa medida, a textura do solo. Ora, isto é particularmente verdadeiro, dado que, as “diferenças em textura relacionam-se com as diferenças em teor de humidade, pois os solos constituídos por partículas finas retêm mais humidade do que os solos constituídos por partículas mais grosseiras. Por outro lado, solos constituídos por partículas finas, tais como o lodo, são mais compactos do que solos do tipo das areias reflectindo uma maior percentagem da REM incidente, para um mesmo teor de humidade” (Fonseca e Fernandes, 2004:21).

Em matéria do comportamento espectral dos solos, observa-se que, se por um lado na região espectral do visível, é fortemente dependente do teor em humidade e presença de matéria orgânica, querendo isto dizer que, um aumento desses dois factores proporciona uma diminuição da “capacidade reflectiva” dos solos, por outro, nas regiões de infravermelho médio e próximo, a elevada capacidade em absorver, está fortemente dependente do teor de humidade.

Posto isto, o conhecimento das curvas de reflectância dos mesmos, constitui uma condição necessária e fundamental para a classificação dos mesmos, isto porque, a informação recolhida por Detecção Remota leva em consideração as características espectrais dos diferentes objectos da imagem. A imagem seguinte (figura 13) mostra as curvas de reflectância espectral dos três objectos acima mencionados (vegetação, solo e água), e frequentemente utilizados nos processos de classificação de uso e ocupação do solo.

Figura 13: Curvas de reflectância espectral da Vegetação, Solo, Água.



Adaptada de Lillesand e Kiefer, (1987:17)

Em termos gerais, face aos processos acima descritos, destacam-se também, outros factores com importância acrescida na imagem de Detecção Remota. Na verdade, tais factores, referem-se aos sensores e as suas capacidades no que respeita a leitura de informações em diferentes bandas espectrais, designando essas capacidades por resoluções. Aqui, entendeu-se importante, abordar as quatro resoluções frequentemente abordadas em contexto de Detecção Remota e que serão abordados nos pontos abaixo.

II. 2.2.8. Resolução dos Sensores

Como referido atrás, nos pontos seguintes serão abordados os aspectos relacionados com as capacidades dos sensores. Por resolução de um sensor, entende-se a medida de capacidade que o mesmo apresenta em termos de discriminação dos objectos registados em diferentes bandas espectrais, com a finalidade de compreender a similaridade espectral dos objectos e as suas proximidades em relação ao conjunto dos objectos presentes num determinado contexto espacial. Apesar da grande maioria dos sensores registarem os dados de acordo com os princípios básicos de Detecção Remota, importa referir que as características dos mesmos (entenda-se a qualidade, formato, dimensão) varia de acordo com a resolução de cada sensor. Geralmente, no domínio de Detecção Remota passiva, são quatro os tipos de resolução de um sensor.

Embora o objectivo deste estudo não se centre especificamente nos aspectos, técnicos, relacionados sobretudo com as resoluções dos sensores, ainda assim, entendemos ser fundamental descrever as diferentes resoluções, visto que, traduzem aspectos essenciais com impactos significativos nos resultados das classificações de imagem.

De facto, no que envolve a resolução dos sensores, é legítimo afirmar que, a extracção de informação geográfica útil à tomada de decisões não depende apenas da resolução espacial que cada satélite apresenta, mas sim, da complementaridade das quatro resoluções (espacial, espectral, radiométrica e temporal) que os sensores apresentam e que consequentemente permite-lhes discriminar com maior exactidão as informações contidas numa imagem de satélite.

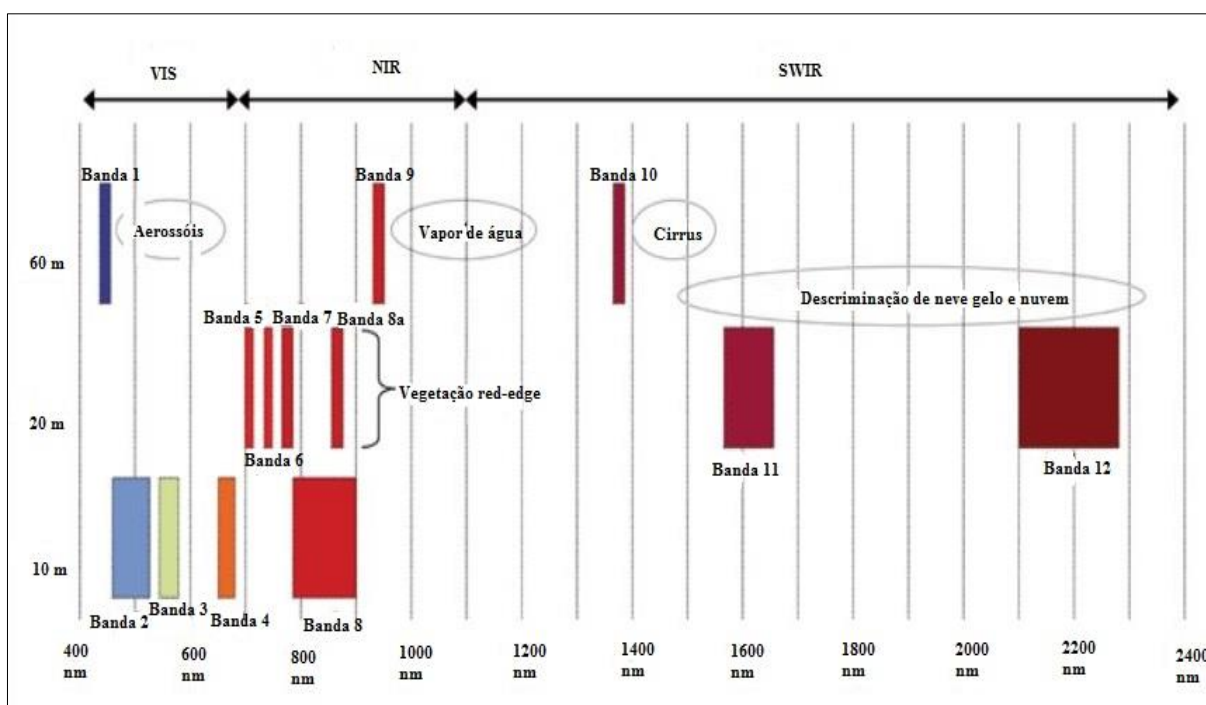
Posto isto, entendemos ser útil descrever detalhadamente todas as resoluções acima referidas, de forma a perceber a importância que cada uma desempenha tanto no formato, como na qualidade dos dados registados por um sensor de Detecção Remota passiva.

II. 2.2.8.1. Resolução Espacial

A resolução espacial de um sensor refere-se à capacidade que o mesmo apresenta em detectar o objecto mais pequeno numa imagem, dentro do campo de visão instantâneo (*Instantaneous Field Of View-IFOV*) de um sensor. O *IFOV* desempenha um papel relevante em sistemas de Detecção Remota, dado que, estes dependem em muito do campo de visão instantânea, isto porque, a célula de resolução, ou seja, a área que é observada é determinada pela multiplicação do campo de visão pela distância do sensor em relação ao objecto observado.

De uma forma geral, a resolução espacial de um sensor é dada pela dimensão do tamanho de um *pixel*, que por sua vez, depende do registo efectuado por um determinado sensor. Geralmente, a resolução espacial é expressa em metros, tal como é evidenciado na figura 14.

Figura 14: Resolução espacial das bandas *Sentinel-2* para diferentes aplicações.



Adaptada de Fletcher K, (2012:13)

II. 2.2.8.2. Resolução Espectral

A resolução espectral de um sensor refere-se, essencialmente, ao número e à amplitude das bandas em que o sensor regista a imagem. Está particularmente ligado à sensibilidade que um sensor apresenta a uma determinada área do espectro electromagnético. Ora, se por um lado o sensor exibir uma elevada sensibilidade a uma parte do espectro electromagnético e fraca numa determinada área, estando este facto relacionado com o número de bandas que o mesmo apresenta, por outro lado, um outro sensor pode apresentar para a mesma fracção do espectro electromagnético, a mesma intensidade, no que respeita a sensibilidade, porém, apresentar um maior número de bandas mais finas, capazes de discriminar melhor os objectos presentes na imagem.

Outro aspecto relevante relacionado com a resolução espectral prende-se, com o número de bandas. Na verdade, o elevado número de bandas, permite ao utilizador “distinguir/discriminar” melhor os objectos da imagem com elevada proximidade no que respeita a resolução espectral. Uma das grandes vantagens em dispor de um sensor com um elevado número de bandas, prende-se com o facto de permitir a detecção de características únicas de um dado fenómeno numa imagem.

No caso específico deste estudo, utilizou-se o sensor *Sentinel-2*. Este sensor está equipado com um conjunto de 13 bandas espectrais (quatro com 10 metros, seis com 20 metros e três com 60 metros) (ver a figura 14). Posto isto, no quadro 9 apresenta-se as definições das diferentes bandas espectrais do sensor *Sentinel-2* e ritmos de ruído para a missão.

Quadro 9: Definições das bandas espectrais do sensor *Sentinel-2*.

Número da banda	Comprimento de onda central (nm)	Largura de Banda (nm)	Lref (Wm ⁻² sr ⁻¹ μm)	SNR @
1	443	20	129	129
2	490	65	128	154
3	560	35	128	168
4	665	30	108	142
5	705	15	74.5	117
6	740	15	68	89
7	783	20	67	105
8	842	115	103	174
8B	865	20	52.5	72
9	945	20	9	114
10	1380	30	6	50
11	1610	90	4	100
12	2190	180	1.5	100

Fonte: Drusch et al. (2012:28)

II. 2.2.8.3. Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica de um sensor diz respeito ao número de *bits* (2ⁿ) de uma imagem. Geralmente, os números de *bits* (numero de níveis digitais) são codificados em níveis de cinza.

A resolução radiométrica corresponde à capacidade que os sensores apresentam, relativamente ao registo das alterações na radiação recebida. Na verdade, é a capacidade dos sensores em discriminar as baixas variações de energia, ou níveis distintos em que o sinal recebido pode ser dividido. Assim, quanto maior for a resolução radiométrica de um sensor, mais sensível é, no que respeita ao registo da mais pequena diferença da energia.

No caso específico do *Sentinel-2*, este apresenta uma resolução radiométrica de 12 bits, o que por sua vez, permite adquirir imagens com um intervalo radiométrico de 0 a 4095 níveis digitais.

A dimensão radiométrica de um sensor remete para a importância da precisão radiométrica e a sua dependência. Neste sentido, é importante referir que a resolução radiométrica não só depende da capacidade do sensor em registar alterações na quantidade da energia recebida, mas também, da relação sinal/ruído do detector.

II. 2.2.8.4. Resolução Temporal

A resolução temporal de um sensor refere-se à frequência com que um sensor “visita” /registra o mesmo ponto na superfície terrestre. Geralmente, a maioria dos sensores de Detecção Remota registam as imagens do mesmo espaço a superfície com intervalo de tempo que podem variar entre horas, dias, semanas etc. Dependendo este facto das características intrínsecas do sensor²².

A resolução temporal é um factor de significativa relevância, isto se levarmos em consideração as variadíssimas aplicações de Detecção Remota, nomeadamente, as alterações espectrais do coberto vegetal, monitorização de áreas de elevado risco de incêndios, permitindo não só a detecção das alterações e comportamentos espectrais dos objectos em estudo, mas também, a comparação de imagens multitemporais intra-anuais.

A resolução temporal de um sensor é assim encarada como um factor essencial para a compreensão e estudo dos fenómenos atrás mencionados, na multidimensionalidade do espaço geográfico em que se encontrem.

No caso do sensor *Sentinel-2*, cujas imagens serviram de base para este trabalho, importa salientar que a sua resolução temporal é de 5 dias. Porém, este facto só é possível

²² Entenda-se a sua órbita, resolução espacial entre outros aspectos.

devido a conjugação de dois sensores da mesma família, isto é, a resolução temporal deste sensor seria de 10 dias se fosse levada em consideração apenas um único sensor.

As características dos sensores e as respectivas resoluções constituem, factores imprescindíveis para a descodificação da informação transmitida aos centros de recepção e tratamento dos dados. Na verdade, permitem também ao analista, simplificar os dados recolhidos através das abordagens de análise de imagens.

II. 3. Abordagens de Análise e Extracção de informação em Detecção Remota

As imagens geográficas obtidas por via dos Satélites constituem uma ferramenta de grande importância em contexto de tomada de decisões. Porém, é imperativo ter um conhecimento sólido dessa ferramenta, de forma a conseguir extrair a partir da mesma, informações úteis e com aplicações concretas. Existem duas abordagens de extracção de informação, nomeadamente, a abordagem clássica baseada em análise *pixel a pixel*, centrando-se sobretudo na análise de informação espectral e a abordagem baseada em objecto ou orientada a objecto, metodologia recente, que por considerar o efeito da vizinhança e do grupo, acaba por ser um método de interpretação de imagem que retoma o conceito de “região homogénea”.

II. 3.1. Abordagem *pixel a pixel*

Como anteriormente mencionado, a abordagem *pixel a pixel*, consiste numa forma clássica de extrair informação por via de resposta espectral dos objectos presentes na superfície terrestre. Nesse tipo de abordagem, a unidade mínima de análise mais frequente é o *pixel*. Partindo deste facto, é lícito sublinhar que a abordagem *pixel a pixel* se caracteriza por uma classificação que se baseia essencialmente nos grupos ou classes com uma resposta espectral idêntica. Na verdade, um dos grandes objectivos da análise de imagens geográficas por via de satélites consiste, na classificação e integração de píxeis semelhantes em grupos com as mesmas características, sendo depois atribuído um significado a esses grupos.

Assim, com esta abordagem, podem ser encontradas dois níveis de classificação:

1. **Classificação não supervisionada e,**
2. **Classificação supervisionada**

Na classificação não supervisionada, verifica-se uma ausência do analista, isto porque, os classificadores não supervisionados não necessitam do analista para determinar as classes de ocupação do solo. Por esta razão, procedem ao agrupamento de *pixels* com as mesmas respostas espectrais num conjunto de grupos com assinaturas idênticas, designadas por *clusters*. Porém, importa sublinhar que, os *clusters* determinados não significam propriamente “classes autênticos” de ocupação do solo, mas sim, conjuntos de *pixels* com as mesmas respostas espectrais. Os algoritmos mais frequentemente utilizados são, *ISODATA* e *K-MEANS*.

Como já referido, os classificadores não supervisionados requerem pouca ou nenhuma intervenção do analista. Há duas situações em que isso ocorre. “Uma delas é quando não se tem suficientes conhecimentos acerca do número e natureza das classes de alvos que possam estar presentes numa área. A outra é quando desejamos fazer uma classificação exploratória da imagem, para rapidamente e sem grande esforço, saber as possíveis classes de alvos que podem ter na imagem” (Meneses e Almeida, 2012:195).

Richards, (2013:383) define este nível de classificação como sendo, a “segmentação do espaço espectral na ausência de qualquer informação alimentada pelo analista. Em vez disso, o conhecimento do analista é usado posteriormente para anexar rótulos de classe aos segmentos de mapa estabelecidos pelo *cluster*, geralmente guiados pela distribuição espacial dos rótulos mostrados no mapa do *cluster*”.

Embora, tecnicamente pouco fiável, ainda assim, sublinha-se que, o grande avanço verificado sobretudo, nos mecanismos de validação dos dados no terreno, juntamente com os métodos de classificação não supervisionada, podem constituir instrumentos rápidos de produção de mapas de uso e ocupação do solo.

Com a Classificação supervisionada (pixel a pixel), o analista determina *a priori* informações relativas a áreas de interesse. Neste tipo de classificação, os algoritmos mais frequentemente utilizados são: Paralelepípedo, Mínima Distância, Máxima Verosimilhança, Máxima Verosimilhança-ICM (Maxver Iterated Conditional Modes), que considera o factor “vizinhança”, *Battacharia*. Supervisionada (por regiões), tem-se o classificador *Battacharia* (que requer o treinamento), mede a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, *ClaTex* (algoritmo supervisionado que utiliza atributos associados às texturas das regiões de uma imagem segmentada)etc. Na verdade, com a classificação supervisionada, o analista procede a caracterização/identificação estatística de elementos no terreno, através da análise de assinaturas espectrais dos objectos.

Por sua vez, numa classificação Não Supervisionada, os algoritmos mais utilizados são:

Classificadores por regiões: que incluem os algoritmos ISODATA e K-Médias.

Lillesand e Kiefer (2015:539) apresentam as três fases que tipicamente caracterizam uma classificação supervisionada, a saber:

- a) – Fase de treino - onde o analista identifica as áreas representativas das classes que pretende extrair através da classificação e procede ao desenvolvimento das descrições numéricas dos atributos espectrais de cada classe de ocupação de superfície;
- b) – Fase de classificação - em que o analista procede a categorização de cada *pixel* da classe que se pretende extrair, em grupos com características semelhantes. Caso se verifique a situação em que as características de um certo número de *pixels* não se assemelhem as dos restantes, estes são classificados como “desconhecidos”;
- c) – Fase de *Output* - esta fase sumariza todas as fases anteriormente referidas atrás, na verdade, corresponde ao resultado final das classificações efectuadas.

A abordagem *pixel a pixel* tem desempenhado papel de relevância no que respeita a classificação de uso e ocupação do solo. Um dos exemplos de aplicação prático desse método é discutido no trabalho desenvolvido por Kumar (2015). Neste estudo, através da integração do algoritmo *Land Surface Temperature (LST)*, *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* e *Normalized Difference Build-up Index (NDBI)*, testou-se a classificação *pixel a pixel* com a finalidade de proceder a análise de índices de vegetação baseada em Detecção Remota para melhorar a gestão de recursos hídricos em ambiente urbano.

II. 3.2. Abordagem Orientada ao Objecto

Contrariamente a abordagem *pixel a pixel*, o método de classificação orientada ao objecto consiste numa método recente e particular de extrair informação geográfica, utilizando como unidade mínima de análise o próprio objecto presente na imagem. Esta abordagem comparativamente ao método *pixel a pixel*, tem assumido um papel de relevância no meio académico.

De facto, tem trazido enormes vantagens aos processos de extracção de informação por via da classificação de imagens de satélite. Na verdade, passa essencialmente pela integração de vários factores, nomeadamente, a hierarquia, forma, contexto espacial, cor, textura etc. A integração dos factores atrás mencionados, é conseguida através da criação de objectos a várias escalas.

A criação de objectos é uma tarefa que é alcançada por via de classificação de imagens, processo que envolve duas etapas fundamentais: i) segmentação da imagem a classificar e ii) classificação dos segmentos de treino.

A segmentação de imagem numa classificação orientada ao objecto representa o primeiro passo a efectuar, consistindo sobretudo na partição de imagens em objectos, com base num determinado critério de homogeneidade, fortemente determinado por critérios de cor, forma, contexto e sobretudo a escala.

Na verdade, a escala, constitui um mecanismo relevante quando se utiliza a segmentação de imagem, dado que, uma pequena variação desse factor permite com que a imagem seja segmentada a diferentes escalas, dando origem a múltiplos objectos, num espaço multidimensional, posteriormente classificados e fundidos em objectos de interesse. Na verdade, desempenha um papel de optimização da dimensão dos objectos que se pretende extrair numa classificação. Blaschke (2010:3 *apud* Schiewe, 2002) refere que, “a segmentação de imagem numa perspectiva de algoritmia, é geralmente dividida em quatro categorias: a) baseada em pontos; b) baseada em borda; c) baseada em região d) combinada.

Uma das técnicas recentemente utilizadas e com significativas vantagens em Detecção Remota refere-se a *Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)*. Esta técnica consiste numa forma de reduzir a subjectividade da classificação de imagens por *pixel a pixel*. Nas consultas bibliográficas (Blaschke 2010; Addink, Van Coillie, & de Jong, 2012 entre outros), constatou-se que muitos autores se têm debruçado acerca desta nova metodologia de extracção de informação, que leva em consideração não apenas a informação espectral dos objectos, mas também o contexto espacial dos mesmos.

Assim, no Capítulo III, voltaremos a esta temática, dando maior ênfase a abordagem baseada em objecto, com particular foco no método *GEOBIA*.

**CAPÍTULO III - *GEOGRAPHIC OBJECT-
BASED IMAGE ANALYSIS (GEOBIA)*: UMA
NOVA ABORDAGEM NA CLASSIFICAÇÃO
DE DADOS OBTIDOS POR DETECÇÃO
REMOTA**

III. 1. Introdução

“A melhoria das classificações de uso e ocupação do solo tem sido um tema recorrente na literatura relacionada com a detecção remota. Os investigadores têm desenvolvido uma grande variedade de abordagens cujo objectivo é diferenciar as classes de uso e ocupação de solo através de dados multiespectrais” (Rocha *et. al*; 2012:49).

Como foi anteriormente referido, nas últimas décadas, a Detecção Remota tem sido marcada por avanços não só em novos algoritmos de extracção de informação, como em novas técnicas que têm possibilitado novas interpretações da informação geográfica.

Face ao já referido, sublinha-se que, um dos maiores avanços na classificação de uso e ocupação de solo foi conseguido com a abordagem centrada na análise de imagem geográfica baseada em objecto (*GEOBIA*). O advento desta metodologia abriu novas perspectivas e possibilidades de estudar o espaço geográfico e explorar algoritmos de extracção de informação que até então não eram utilizados com o método *pixel a pixel*.

Assim, neste capítulo é apresentado a abordagem de classificação de uso e ocupação do solo baseada no objecto (*GEOBIA – Geographic Object-Based Image Analysis*), com recurso a imagens *Sentinel-2A*. De uma forma geral, centraremos a nossa análise nos conceitos *OBIA* e *GEOBIA*, a noção do objecto e as suas dimensões, as vantagens do método *GEOBIA* em relação ao método *pixel-a-pixel* entre outros aspectos.

III. 1.1. Contextualização teórica

O recurso a novas tecnologias e metodologias de extracção de informação possibilitou uma série de vantagens ao operador e tem evoluído cada vez mais, aproximando-se mesmo da cognição humana no que respeita a construção dos objectos. Tais progressos têm possibilitado uma melhor organização e exactidão nas análises efectuadas para a determinação de novos significados dos objectos representados na imagem.

Assim, após décadas de análise de imagem e extracção de informação geográfica por via do classificador baseado em valores espectrais dos *pixels*, esta metodologia tem vindo a dar lugar a novas formas de extracção de informação geográfica e não, tão só concentradas nas características *pixels*, como tem sido até então. De um modo geral, reconhece-se que o contributo de *GEOBIA* para a classificação de imagens baseada em

objecto, permite não apenas melhores resultados, como também, uma análise multi-escala.

O aparecimento de *GEOBIA* (como é demonstrado nos estudos apresentados por Fisher, 1997; Geoffrey Hay, Blaschke e Strobl, 2001, Burnett e Blaschke 2003)²³, assenta, sobretudo, na incapacidade demonstrada pela análise das características espectrais dos *pixels* em responder com rigor a classificação de imagem de forma a obter novos significados. Na verdade, as principais diferenças entre as duas abordagens encontram-se, sobretudo, nos critérios utilizados para a segmentação e classificação de imagem, que é por excelência a base da classificação *GEOBIA*.

De um modo geral, a segmentação de imagem, constitui indubitavelmente uma das características fundamentais da metodologia *OBIA*, recentemente designada de *GEOBIA*. Ultimamente os avanços técnicos alcançados em Detecção Remota, concentram-se, sobretudo, em novos mecanismos e *softwares* de classificação de uso e ocupação do solo baseados em técnicas de segmentação de imagens outrora utilizadas em outras áreas do saber, nomeadamente, na saúde, no reconhecimento de padrões, nas ciências computacionais entre outras.

III. 1.2. Os Conceitos *OBIA* e *GEOBIA*

O Processo de reconhecimento de padrões espaciais dos objectos, as suas propriedades morfológicas numa imagem de satélite e a extracção de informações com relevância e resultados significativos para a tomada de decisão, constituem uma das tarefas mais relevantes em Detecção Remota.

Neste sentido, o *OBIA* (*Object-Based Image Analysis*) tem sido visto como um novo paradigma em análise de imagem de satélite e tem contribuído essencialmente para a mudança na forma como se processava a extracção de informação, destacando o objecto como unidade mínima de análise.

De facto, os principais problemas encontrados na classificação *pixel a pixel* resultam, sobretudo, da não ligação dos parâmetros estruturais das imagens (cor, padrão, textura, tonalidade, forma, contexto), centrando-se sobretudo, nos valores espectrais dos

²³ Ver Blaschke e Hay, 2014:180

pixels individuais que constituem o objecto em análise, o que é dado apenas com a tonalidade e cor, traduzidos em números digitais (*Digital Number*).

Ao contrário do método clássico, a *OBIA* apresenta um significado muito amplo, quanto às suas áreas de aplicação, sendo comum em vários domínios, nomeadamente, visão computacional, medicina, ciências dos materiais, entre outras áreas. Embora não seja estritamente reservada aos investigadores em Geografia e Detecção Remota, ainda assim, é necessário referir que, permitiu uma maior abertura e complementaridade entre diferentes áreas do saber.

Como referido anteriormente, a metodologia *OBIA* caracteriza-se sobretudo, pela aplicação de técnicas de extracção de informação através de segmentação multi-escala. As suas potencialidades e publicações têm caminhado num sentido ascendente desde a primeira aplicação em Detecção Remota e Ciências Geográficas.

Na verdade, tal ascensão iniciou-se “oficialmente” em 2010 (embora a segmentação da imagem e classificação orientada ao objecto, remontem ao ano 2000, particularmente ligadas ao advento de imagens de satélite de alta resolução e de *softwares* com algoritmos cada vez mais potentes, como é o caso do *eCognition*), período em que “o número de publicações da classificação baseada em objecto começa a crescer até aos dias de hoje” (Ma *et al.*, 2017).

Posto isto, sublinha-se que, uma das vantagens apresentadas comparativamente a metodologia *pixel a pixel*, prende-se com o facto de possibilitar a inclusão de informações não espectrais na classificação de objectos, reduzindo desta forma a subjectividade na análise dos dados.

Assim, Hay e Castilla (2006:1), argumentam que, o “objectivo principal de *OBIA* é desenvolver uma metodologia teórica apropriada e ferramentas capazes de replicar ou mesmo superar a interpretação humana de imagens de Detecção Remota de forma a reduzir a subjectividade”, algo que não se consegue com análise *pixel a pixel*, dado que esta não leva em consideração os aspectos contextuais, hierárquicos entre outros, de forma a aumentar a objectividade na interpretação de uma imagem geográfica.

De facto, as diferenças existentes entre os métodos baseados no objecto e os baseados nos *pixels* estão no tipo de classificadores empregues. Enquanto a metodologia *pixel a pixel* se centra sobretudo na análise dos valores espectrais dos objectos, na metodologia baseada no objecto a “imagem segmentada pode ser classificada por dois

tipos de classificadores, funções e o classificador de vizinho mais próximo (padrão) ou sua combinação. As funções de associação permitem descrever a relação entre os valores dos recursos e o grau de associação a uma classe usando a lógica difusa (*fuzzy*)” (Kavzoglu e Yildiz, 2014:33).

Assim, numa altura em que a informação geográfica é cada vez mais importante e necessária no que respeita à tomada de decisão, a metodologia *OBIA* é essencial para o auxílio a uma decisão mais ponderada, como também, para uma melhor interpretação dos dados, isto porque, algoritmos de classificação baseada na análise de um único *pixel*, não responde plausivelmente às necessidades recentes, centradas sobretudo, em análise das características hierárquicas e contextuais dos objectos geográficos.

Ora, isto é particularmente interessante dado que, a classificação baseada só e tão só nos classificadores *pixel a pixel*, apresenta uma mistura espectral no resultado final da classificação, dado que, considerável proporção dos sinais captados pelo sensor pode representar as respostas espectrais de diferentes classes (objectos) de ocupação do solo. Neste sentido, classificadores capazes de analisar não apenas as respostas espectrais dos objectos, como também as características contextuais dos mesmos, constituem um novo paradigma, dadas as suas potencialidades relativamente aos classificadores clássicos baseados nas respostas espectrais dos píxeis.

Para se compreender a nova metodologia de extracção de informação e toda a mudança em torno da análise de imagem de satélite, é imprescindível a compreensão de ruptura/mudanças ou paradigma.

Tomemos como referência a obra de Kuhn (1962) “*Estrutura das Revoluções Científicas*”, onde o autor aborda a questão da ruptura, defendendo que os grandes progressos verificados nas ciências devem-se sobretudo, “a grandes rupturas e não aos processos de continuidade, designando tais rupturas de paradigmas”.

Seguindo esta linha de raciocínio, à metodologia *OBIA* pode ser considerada um novo paradigma, dado que, “rompe” com a metodologia clássica baseada no *pixel*. Na verdade, tal ruptura deveu-se sobretudo, as potencialidades do novo paradigma, com um forte contributo para a Detecção Remota e estudos geográficos.

Dronova (2015) apresenta as potencialidades da metodologia *OBIA* para os estudos de ambientes húmidos, tendo elaborado um resumo sobre as aplicações desta metodologia em diversos estudos referentes a ambientes húmidos, concluindo que este

método facilita uma “abordagem hierárquica para detecção e classificação de ecossistemas húmidos e os seus componentes”.

Uma das principais características da classificação de imagem baseada em objecto consiste, sobretudo, na classificação hierárquica dos objectos uma vez que a unidade de classificação baseada no *pixel* não possibilita uma análise multi-escala dos objectos. Ora, é efectivamente, no estímulo de uma análise mais abrangente que decorre não só, o desenvolvimento dos classificadores baseados em objecto e de novos algoritmos, como também, todos os avanços verificados em de Detecção Remota.

Ma *et. al*, (2017), elaboraram uma base de dados com informações qualitativa e quantitativa dos avanços verificados na classificação e análise de imagem baseada em objecto. Com este estudo, os autores concluíram que existe, um “rápido avanço dos classificadores baseados em objectos, enquanto o desenvolvimento da técnica difusa é limitado na estrutura baseada em objectos”.

De uma forma geral, as vantagens de *OBIA* são reconhecidas por uma vasta maioria dos investigadores em Detecção Remota e Ciências Geográficas. Na verdade, existe uma vasta referência aos trabalhos sobre esta temática (Hay *et al.*, 2006; Blaschke, 2010; Kavzoglu e Yildiz, 2014; Dronova, 2015.), que têm sido desenvolvidos desde o advento deste novo paradigma.

Apesar das vantagens apresentadas por esta metodologia de análise e classificação de imagens, uma definição mais específica era discutida, sobretudo por especialistas e técnicos neste domínio, dado que, a designação *OBIA*, não representava de todo a “disciplina geográfica”, daí a necessidade em definir uma nova terminologia de forma a integrar o conceito geográfico, distanciando desta forma das outras ciências que também empregam o termo *OBIA* para outros fins.

Assim sendo, como forma de identificar uma comunidade restrita, muitos autores propuseram possíveis denominações para esta metodologia. A designação aceite, foi proposta por Hay e Castilla em 2008.

De facto, a *GEOBIA* surge como um instrumento facilitador e inovador no que concerne à classificação do uso e ocupação do solo, centrando assim toda a sua atenção na subdisciplina geográfica, como a área de estudo por excelência.

Hay e Castilla, (2008:77), alegam que a *GEOBIA* representa uma “subdisciplina da ciência da informação geográfica focada no desenvolvimento de métodos automáticos

de partição de imagens de Detecção Remota em objectos com resultados significativos, de forma a aceder as suas características espaciais, espectrais e escalas temporais com a finalidade de gerar uma nova informação geográfica”.

Com a definição deste novo paradigma e os seus objectivos, abrem-se, assim, portas para um debate imprescindível junto da comunidade científica que integra a ciência geográfica. Neste contexto, a questão central que aqui se coloca é: até que ponto deveremos levar em consideração os benefícios desta nova metodologia no domínio da ciência geográfica?

Com base na questão colocada, a nossa resposta pauta-se por dois motivos (ou vantagens) fundamentais: a capacidade em responder de forma mais objectiva às questões que a metodologia clássica não consegue responder e a possibilidade de permitir um estudo multi-escala e multitemporal, levando simultaneamente em consideração as características espectrais e contextuais.

Sem dúvida que, actualmente, a classificação de imagem de satélite baseada em objecto tem-se afirmado consideravelmente não só no domínio geográfico em geral, como também, no domínio de Detecção Remota em particular, tendo introduzido uma nova forma de classificar a imagem de satélite, com especial enfoque na construção de novos significados dos objectos classificados.

Seguindo esta linha de pensamento, no subcapítulo em baixo, iremos apresentar e discutir as particularidades da metodologia *GEOBIA*, destacando trabalhos de diversos autores, essenciais para a consolidação desta nova metodologia.

III. 1.3. *GEOBIA* e Segmentação de imagens

Antes de iniciarmos a caracterização da *GEOBIA*, é fundamental contextualizar tal conceito no âmbito da classificação de imagens de satélite. Na verdade, uma das diferenças entre a metodologia de classificação baseada em *pixel* e a baseada em objecto encontra-se essencialmente no “domínio” da segmentação. De facto, ao nível das técnicas, a abordagem baseada em objecto difere da clássica no sentido em que, para ser aplicada, implica sobretudo a construção de objectos por via de segmentação de imagens.

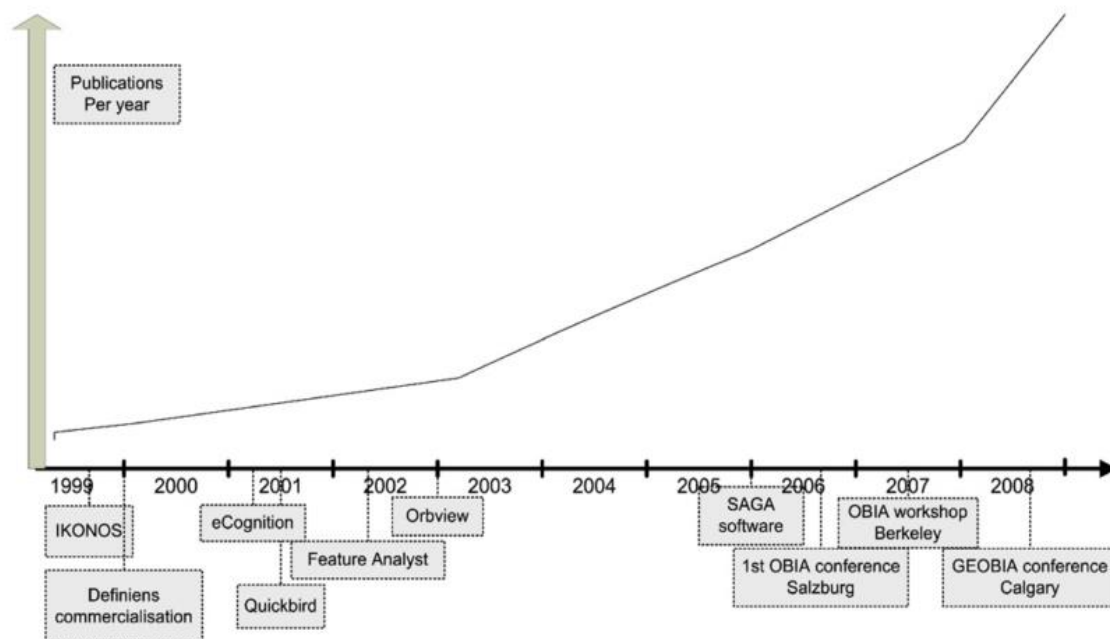
Ora, uma das características fundamentais da segmentação encontra-se sobretudo, na análise hierárquica dos dados. Baatz e Schape (1999) sublinharam este facto,

defendendo que, a “estrutura hierárquica representa a informação dos dados em diferentes resoluções simultaneamente. Cada objecto “conhece” o seu contexto os seus vizinhos e os seus subobjectos”.

Face ao que antecede podemos afirmar, que a segmentação de imagem corresponde a uma primeira etapa da classificação de imagem baseada em objecto. Muitos estudos sobre a classificação de solo baseada em objecto apelam a segmentação da imagem, o que reforça a ideia de que em todos os estudos que implicam a utilização da metodologia *GEOBIA*, os autores mostram, numa primeira fase, a “preocupação” com a segmentação da imagem.

De facto, desde a sua vinda, a *GEOBIA* tem recebido uma atenção especial, devido sobretudo as suas potencialidades e vantagens em relação à classificação clássica baseada nos valores espectrais dos *pixels*. Ora, isto é particularmente interessante, dado que, as publicações de obras acerca das vantagens desta metodologia têm aumentado consideravelmente em Detecção Remota (figura 15).

Figura 15: Evolução esquemática da quantidade de Literatura resultante do advento da *OBIA/GEOBIA*.



Fonte: Blaschke (2010:11)

Na figura 15, é traçada claramente a evolução da metodologia *OBIA* e *GEOBIA*, podendo ser “repartida” em quatro momentos fundamentais:

- i. O surgimento da ideia de classificação orientada a objecto;
- ii. O aparecimento do *software eCognition*;
- iii. A difusão dessa ideia de classificação orientada a objecto (congressos etc.);
- iv. Assimilação da metodologia *GEOBIA*.

Aqui, importa sublinhar que, a metodologia *GEOBIA* é indissociável não só de imagens de alta resolução espacial, como também de *softwares* com capacidades e algoritmos cada vez mais avançados e direccionados para a construção de objectos, com recurso a técnicas de segmentação de imagem.

A segmentação é, aqui, entendida como uma técnica de regionalização, dado que permite agregar vários *pixels* em regiões ou objectos que se diferenciam dos outros com base nas suas características espectrais.

Aqui, Posto isto, é importa destacar o trabalho de Addink, Van Coillie, E de Jong, (2012:3), cujo objectivo era, demonstrar a importância da classificação de imagem baseada em objecto, destacando o facto de esta ter permitido um forte desenvolvimento sobretudo, da algoritmia, incluindo o desenvolvimento de pacotes de segmentação de imagem, sem esquecer o volume de literaturas que se espera continuarem a desenvolver ao longo dos anos.

Não obstante, os mesmos autores levantaram uma questão bastante pertinente, relacionando-se sobretudo, com o “objecto óptimo”, em que alegam: “que critérios devemos usar para determinar qual o melhor objecto para o objectivo do nosso estudo e para a imagem a analisar?”.

Ora, a pergunta colocada é bastante pertinente, e remete-nos para a questão não apenas da resolução espacial das imagens e exactidão dos resultados, como também para critérios inerentes à construção de imagem, com base na metodologia *GEOBIA*.

No que respeita à resolução dos sensores, Casimiro, (2002:264), alega que, “não é uma limitação mas sim um elemento integrador, implicando uma determinada escala de análise, a do *pixel*”. Relativamente ao critério utilizado na construção de imagem, importa sublinhar a importância da similaridade (entre objectos com a mesma assinatura espectral) e descontinuidade (subentenda-se o contexto, isto é, a relação do objecto com os seus vizinhos).

A descontinuidade tem subjacente o conceito de regionalização, o que por sua vez, descreve unidades independentes. No trabalho desenvolvido em 2007, Lang 2008, apresentou o termo *geon*²⁴, no sentido de descrever “ o objecto espacial genérico que deriva da regionalização e homogéneo em termos de variação espacial e controlado parcialmente pelas acções políticas” (Lang; 2008:9).

De ponto de vista da classificação baseada em objecto, *geon*, pode ser entendida como um ou diferentes objectos extraídos por segmentação de imagem, assemelhando-se entre si por um dado grau de homogeneidade.

O mesmo autor sintetiza três características principais de um *geon*, que são:

- 1) – “Formação de um *geon* (o que implica a transformação da informação espacial continua em objectos discretos por algoritmos de interpolação, segmentação, regionalização, generalização);
- 2) – Análise dos arranjos espaciais (o que leva a propriedades espaciais emergentes);
- 3) – Monitorização (das modificações e mudanças e avaliação do desenvolvimento do estado) ”.

A classificação do solo baseada em objecto deve ser, assim, centrada nas três características atrás sintetizadas, dado que, caracterizam de forma clara a formação de um objecto discreto com resultado significativo.

Opitz e Blundell, (2008:158) referem que, “ao classificar objectos em imagens, existem apenas alguns atributos acessíveis aos intérpretes humanos, esses atributos incluem: forma, tamanho, cor, textura, padrão, sombra e associação. As técnicas tradicionais de processamento de imagens incorporam apenas cor (assinatura espectral) e talvez textura ou padrão”

O reconhecimento e a extracção de objectos têm seguido uma tendência ascendente em matéria de análise, caminhando lado a lado com o desenvolvimento das técnicas e algoritmos de extracção de objectos que se aproximam cada vez mais à cognição humana. Com o advento da extensão *Feature Analyst*, desenvolvido pela *Visual*

²⁴ Termo grego que designa parte da Terra, ou, unidades espaciais de acordo com um certo grau de homogeneidade. Este conceito foi inicialmente utilizado por Biederman (1987), para designar objectos rotacionados em profundidade.

Learning Systems em 2001, o reconhecimento de objecto ganhou um novo rumo, no que concerne a extracção de objectos geográficos.

De facto, a *Feature Analyst*, incorpora os atributos necessários para extracção e reconhecimento dos objectos com uma considerável exactidão, representando deste modo, um forte contributo para a de extracção de informação geográfica, dado que, é bastante mais rápido e eficaz relativamente ao método manual.

Com inúmeras vantagens para a extracção de informação geográfica, Opitz e Blundell (2008:165), apresentaram dez benefícios resultantes do uso da interface *Feature Analyst*, benefícios estes que incluem:

- Melhor gestão de tempo na extracção de recursos geoespaciais 2D e 3D a partir de imagens;
- Aumentos significativos na precisão;
- Capacidades de extensão de fluxo de trabalho para *software* estabelecido;
- Uma abordagem simples;
- Arquitectura de *software* simples e baseado em padrões;
- Interoperabilidade entre os usuários;
- Um simples fluxo de trabalho e interface do usuário;
- Alta precisão;
- Ferramentas de limpeza pós-processamento;
- Ferramentas de modelagem AFE.

A classificação de imagem baseada em objecto é um método bastante promissor, próximo da cognição humana, no que respeita, sobretudo, à construção de objectos numa realidade complexa e dinâmica.

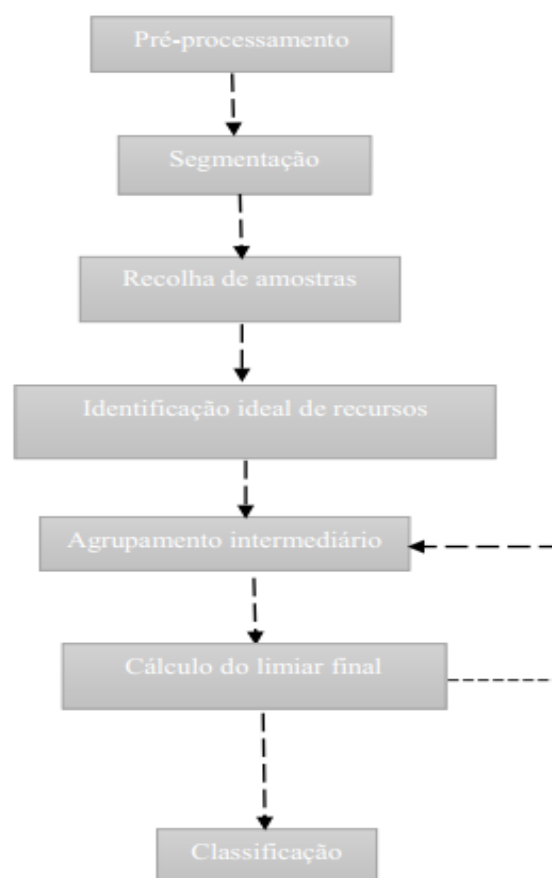
Os procedimentos ligados a classificação do solo baseada em objecto, serviu de base para a metodologia utilizada neste estudo. De facto, a metodologia baseada em objecto, apresenta uma série de vantagens que para o caso de estudo a desenvolver, constitui uma mais-valia, desde a fase de pré-processamento até a classificação de objectos de interesse.

Marpu *et.al* (2008:173) aplicaram uma técnica para a classificação automática de imagem baseada em objecto. Este método demonstra os procedimentos necessários para o tratamento de uma imagem desde a fase de pré-processamento a classificação da mesma.

De acordo com a ideia patente na figura 16, é de salientar que, de uma forma geral, o pré-processamento descreve às operações iniciais que antecedem à operação principal. A operação referente ao pré-processamento inclui ainda várias fases, onde se destacam as três mais utilizadas em Detecção Remota, que são:

- i. Recolha e análise dos dados (imagens): sobretudo a qualidade dos dados para o objectivo pretendido;
- ii. Correção radiométrica dos dados: com a finalidade de corrigir os aspectos atmosféricos que possam afectar a informação recebida pelos sensores, nomeadamente, o ruído provocado pelas oscilações do sensor, a inclinação do mesmo, entre outros aspectos;
- iii. Correção geométrica dos dados: o que consiste essencialmente na relação entre o posicionamento relativo do objecto numa imagem e o seu posicionamento real no espaço geográfico real.

Figura 16: Procedimentos para a classificação automática de imagem.



Adaptada de Marpu *et. al*, 2008:173

Apesar das vantagens resultantes de *GEOBIA*, é de sublinhar que também apresenta algumas desvantagens relacionadas sobretudo com a não eficácia, sob imagens de baixa resolução espacial. Na verdade, “*GEOBIA* é mais eficaz para a classificação de imagens de alta resolução espacial, características que tendem a diminuir quando é empregue em imagens de baixa ou moderada resolução espacial” (Baker, Warner, Conley, e Mcneil, 2013:1633).

III. 1.4. Contextualização espacial do objecto

Uma das principais preocupações de qualquer entidade responsável pela tomada de decisões de uma dada região pauta-se sobretudo pela rapidez em responder aos problemas com que se vão cruzando. Ora, isto é particularmente interessante, dado que, a necessidade de uma atempada tomada de decisões, constitui uma das características das sociedades cada vez mais complexas e dinâmicas.

Neste contexto, a técnica e a forma de extrair informações acerca do território, representam uma mais-valia a uma rápida resolução dos problemas. *GEOBIA*, como método de recolha de informação mais robusto, detém um papel de grande relevância, não somente por conseguir agregar um conjunto considerável de *pixels* pertencentes ao mesmo objecto, mas sim, pela rapidez e sua aproximação a cognição humana em matéria de construção de objectos.

De facto, com os avanços alcançados no reconhecimento e análise de objectos para a classificação de imagens de satélite, a *GEOBIA* tem ganho uma relevância acrescida, devido, a capacidade em analisar e extrair de forma eficiente as informações que auxiliem a tomada de decisões.

Uma das temáticas de maior interesse no que respeita a extracção de informação espacial/geográfica, reside sobretudo, na compreensão de dois conceitos imprescindíveis, e que dizem respeito a entidade geográfica e objecto geográfico.

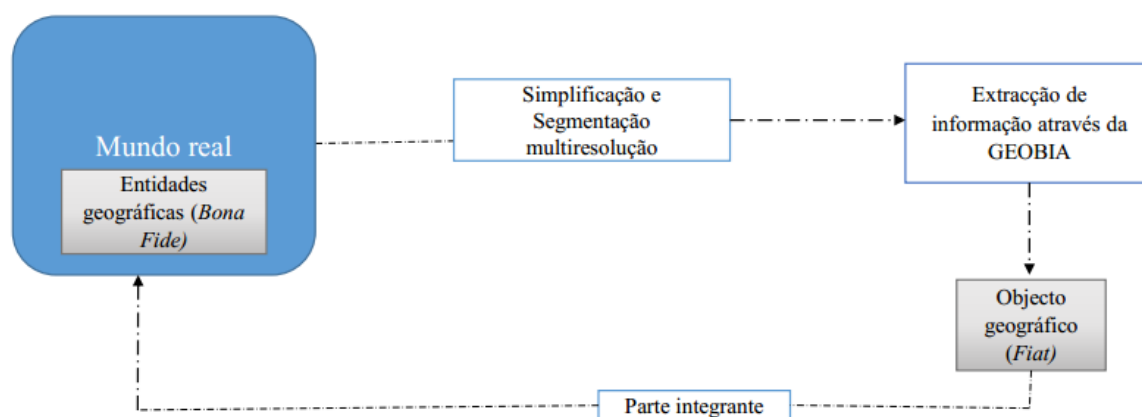
A ideia de entidade geográfica refere-se, a “coisas no mundo real que podemos perceber. Em nossa representação (nosso modelo mental) entidades tornam-se objectos: representações das coisas no mundo real” (Craglia e Couclelis, 1997:226).

Numa perspectiva abrangente, as entidades geográficas olham para o mundo real como um espaço contínuo, sem uma fronteira real, por outro, os objectos geográficos

separam o mundo real em objectos com características e propriedades distintas, baseando-se em três passos fundamentais: “i) descrição das entidades geográficas descritas por ontologia geográfica; ii) modelo de rede semântica e iii) classificação dos objectos geográficos com base nas regras de decisões” (Gu *et.al*, 2015).

Com base no descrito atrás, é lícito afirmar que, a informação geográfica constitui um conceito relativo, cujo significado é moldado com base numa determinada escala de observação. Posto isto, torna-se necessária uma distinção entre os conceitos relacionados com as entidades geográficas e os objectos geográficos (ver figura 17), dado que, embora indissociáveis, ainda assim, carecem de uma clara definição de forma a compreendermos melhor a noção de objecto geográfico.

Figura 17: Representação esquemática das entidades e objectos geográficos.



Analisando a figura 17 e, como anteriormente referido, torna-se evidente a existência de dois conceitos que embora, apresentem significados distintos, são absolutamente indissociáveis, no sentido em que a existência de um depende da existência do outro, isto é, as partes (objectos geográficos/entidades *Fiat*) constituem o todo (entidade geográfica/entidades *Bona fide*), num dado espaço geográfico multidimensional.

A espacialização ou contextualização do objecto geográfico no espaço é um aspecto fundamental para os estudos geográficos, no sentido em que, a existência de um (espaço), pressupõe necessariamente a existência do outro (entidade/objecto). Neste ponto, importa sublinhar que o objecto geográfico requer um enquadramento espacial que

lhe consagre a existência, isto porque, a sua existência encontra-se intrinsecamente enquadrada no espaço geográfico.

Assim sendo, deve-se assumir “como primeiro pressuposto, que o espaço geográfico existe, por uma relação de implicação com o segundo de que o objecto existe e que o mesmo não tendo dimensionalidade zero, estará referenciado a um espaço. Isto é, se um objecto de estudo existe (que não o próprio espaço) então a dimensionalidade desse mesmo objecto comprovará a existência de espaço” (Encarnação, 2004:44).

III. 1.5. As Dimensionalidades do Espaço Geográfico

Em qualquer análise geográfica, a tarefa mais importante, reside essencialmente na determinação e compreensão das dinâmicas e relações entre os objectos dentro de um dado espaço geográfico. Na verdade, a análise de um único objecto de forma isolada num espaço que é suposto ser multidimensional, constitui um exercício superficial.

Assim sendo, entendemos que numa classificação de imagem baseada em objecto, é imprescindível uma contextualização da unidade de análise (objecto) no espaço em que se insere. Neste contexto, é importante uma caracterização, não apenas do objecto em si, como também a sua natureza e as fronteiras que permitem nada mais nada menos que a delimitação dos limites dos objectos existentes num dado espaço geográfico.

A delimitação dos limites dos objectos é possível através da distinção entre dois tipos de fronteiras das entidades físicas, que se caracterizam pelo seguinte, *Bona fide Boundaries* e *Fiat Boundaries*.

A distinção entre as duas fronteiras baseia-se no seguinte pressuposto, as primeiras caracterizam-se por existirem” independentemente da decisão humana”, como é exemplo disso a floresta ou superfície terrestre. Por sua vez, as segundas, correspondem às fronteiras artificiais, “dependente das decisões humanas, sendo assim o produto das actividades mentais” (Vogt *et. al*, 2012:1). Assim, a existência das segundas, fundamenta-se com os limites territoriais previamente estabelecidos por um conjunto de critérios resultantes da cognição humana (como é exemplo disso os limites administrativos e as fronteiras entre países).

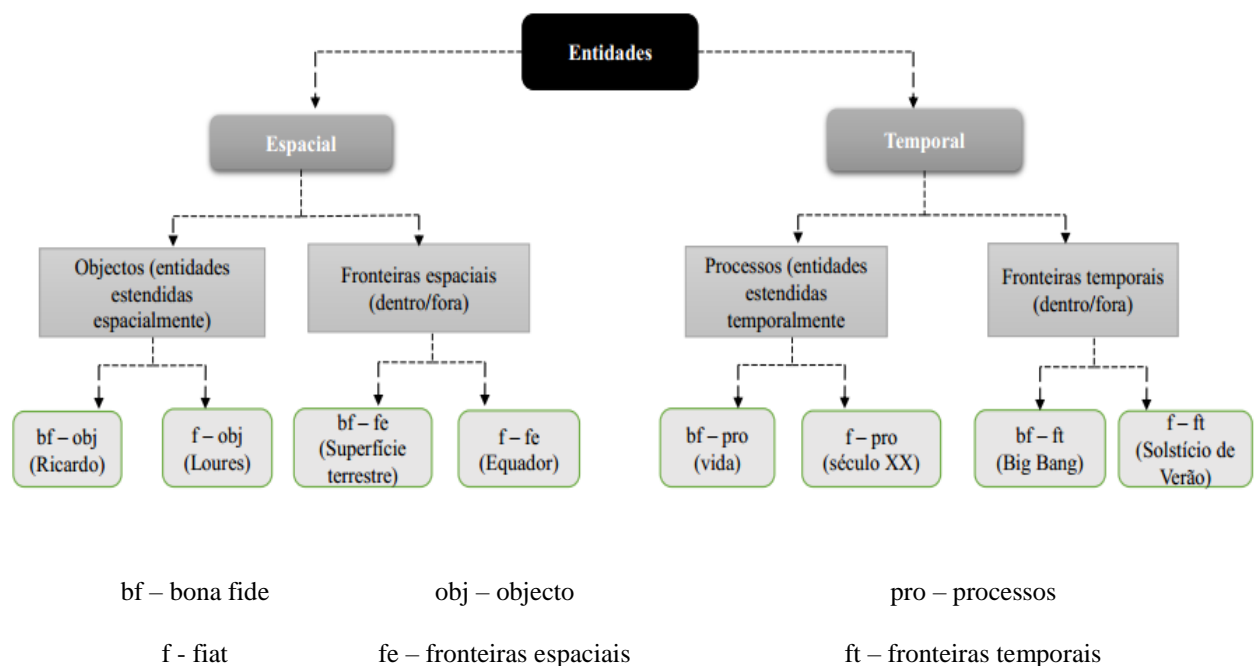
Aqui, revela-se necessária uma reflexão acerca do conceito de entidades geográficas. Assim, com base na ideia anteriormente defendida, assumimos que, quando

se estuda as entidades geográficas, é fundamental uma contextualização clara da noção de ontologia. Segundo Smith e Mark, (1998:245), a ontologia “foi concebida como uma espécie de física geral, uma ciência dos tipos de entidades na realidade, dos objectos, propriedades, categorias e relações que compõem o mundo”.

Nesta linha de raciocínio, na figura 18, apresenta-se a taxonomia das duas entidades, *Bona fide* e *Fiat*, proposto por Smith (2001:7), na tentativa de uma melhor compreensão não só da ontologia, como também das entidades geográficas.

Com base na figura 18, é possível obter *Bona fide object* e *Fiat objects*, resultante em exclusivo da noção de espaço geográfico. Neste sentido, ao abordarmos essas entidades, torna-se essencial uma clara noção não apenas do espaço geográfico, como também do objecto geográfico, isto porque, as duas entidades aqui apresentados estão fortemente associadas às noções de espacialização dos objectos.

Figura 18: Taxonomia das entidades *Bona Fide* e entidades *Fiat*.



Adaptada de Smith, 2001:7

Por essa razão, aqui, torna-se fundamental uma distinção entre objecto geográfico representado e objecto geográfico representativo.

Com base no distinto na figura 18 podemos afirmar que, por objecto geográfico representado, encontram-se todas as entidades que possam existir, independentemente da cognição humana. Neste sentido, podemos associar os objectos geográficos representados as entidades *Bona fide* por uma relação de semelhanças. Contudo, em certos momentos, os objectos geográficos representados podem assumir as características de um objecto geográfico representativo, como são exemplo disso, a superfície terrestre ou floresta.

Por sua vez, por objecto geográfico representativo, associamos a todos os objectos que possam existir, porém, essa existência é dependente da cognição humana. Com base nesse facto e, por uma razão de semelhanças, pode-se atribuir as semelhanças do objectivo geográfico representativo às entidades *Fiat*.

No domínio de Detecção Remota e classificação do uso do solo, as entidades *Fiat* ou objecto geográfico representativo, correspondem a objectos de grande interesse, dado que, para um analista a delimitação das entidades *Fiat* numa imagem de satélite, de forma a compreender não apenas as suas características espectrais, como também, as suas relações espaciais (contextuais), constituem aspecto fundamental em Detecção Remota.

Neste sentido, procuraremos na presente Tese de Doutoramento, identificar essas entidades de forma a compreender as suas relações com os objectos vizinhos e perceber os seus contributos numa análise mais alargada, isto é, a uma escala multitemporal.

III.1.5.1. Noção de Objecto

Em Detecção Remota, uma das tarefas primordiais, consiste essencialmente, no estudo e caracterização dos objectos presentes no espaço (anteriormente designado por entidades *Fiat*). Por esta razão, é indubitavelmente importante uma clara noção do objecto, de forma a auxiliar a discriminação dos mesmos.

De uma forma geral, em Detecção Remota, o objecto pode ser entendido como uma entidade presente num dado espaço geográfico, capaz de ser discriminado, com base num determinado comportamento espectral que apresente, mediante um determinado sensor. Seguindo esta linha de raciocínio, é legítimo afirmar que a ideia do objecto e a construção do mesmo, está intrinsecamente ligada a noção da cognição humana, dado que, aqui, prevalece em primeira mão, a noção de fronteiras entre diferentes entidades patententes no espaço geográfico, de forma a serem agrupadas em distintas regiões espaciais,

passíveis de serem detectadas e reconhecidas, com base num determinado comportamento espectral, podendo ser, definido espacial e temporalmente.

Casimiro (2002:81) alega que, apesar dessa particularidade, “esse objecto não corresponde, obrigatoriamente, a um tema particular, pode até consistir numa associação de temas, ou corresponder a uma organização específica de objectos”, como é exemplo disso uma floresta.

Neste contexto, importa sublinhar que, uma das tarefas fundamentais em Detecção Remota aplicada consiste, sobretudo, na conversão da informação geográfica presente na imagem, em objecto. Casimiro (2002:82) apresenta três etapas que considera imprescindíveis para a identificação e interpretação do objecto, nomeadamente:

- i) – Tratamento e análise prévia das imagens
- ii) – Correlações
- iii) – Verificação

Assim, no que respeita ao tratamento e análise prévia, o autor defende que esta consiste sobretudo em, “avaliar o zonamento que resulta exclusivamente da realidade radiométrica dos objectos no terreno, através da visualização estrita da imagem”.

Por sua vez, as correlações consistem essencialmente no “estabelecimento de referências de terreno (pressupõe a identificação dos objectos – temas no campo), durante a passagem do captor, por forma a correlacionar as informações espectrais registadas com as áreas de testes escolhidas no terreno”.

Por último a verificação, permite “determinar se as áreas classificadas na imagem correspondem à verdade do terreno (*Ground truth*)”.

CAPÍTULO IV - DADOS UTILIZADOS: CONTEXTUALIZAÇÃO E PRÉ- PROCESSAMENTO

IV. 1. Introdução

Como já foi anteriormente referido, a classificação do uso e ocupação do solo baseada em objecto é um dos tópicos em maior destaque nas últimas décadas no domínio de Detecção e Remota e Análise Geográfica. Esta temática tem vindo a ganhar relevância, devido, essencialmente, a sua eficiência em relação ao método baseado nos valores espectrais dos *pixels*.

Na verdade, tem constituído um novo suporte de classificação e interpretação do uso e ocupação do solo, dado que, permite uma melhoria na delimitação dos limites entre as entidades, isto é, fronteiras entre os diferentes objectos presentes na imagem.

Contudo, é de destacar que, os avanços registados na metodologia *GEOBIA* devem-se, em grande parte ao desenvolvimento de técnicas de segmentação de imagem, que por sua vez, permitiram a passagem da metodologia baseada no *pixel* para o objecto, como unidade mínima de análise.

Neste contexto, recentemente, tem-se apostado mais na classificação de imagens por via do objecto com recurso a segmentação de imagens, devido à necessidade da contextualização da informação e atribuição de significados mais precisos a cada objecto presente numa dada imagem em estudo. Daqui, decorre a necessidade de sublinhar que, a delimitação das classes presentes na imagem, correspondem ao reflexo não apenas do objectivo a que se destinam, como também, os graus de generalização.

Assim, para a classificação das classes presentes numa dada imagem, a adopção de uma determinada escala de análise, deve ir ao encontro dos objectivos pretendidos, de forma a respeitar a escala e a unidade mínima cartográfica (UMC). Aqui, é lícito afirmar que a representação de um dado objecto, apresenta resultados diferentes, de acordo com a nomenclatura adoptada.

IV. 2. As Nomenclaturas de Uso e Ocupação do Solo em Detecção Remota

A adopção da nomenclatura de classificação de uso e ocupação do solo corresponde a uma tarefa fundamental em qualquer projecto de classificação e análise da representação espacial. Porém, é necessária uma clara distinção entre Uso do Solo e Ocupação do Solo, dado que, muitas vezes os dois conceitos causam uma certa confusão devido a uma certa proximidade na definição entre ambos. Na verdade, os dois encontram

similaridade sobretudo, no sistema a que são parte integrante. Assim, apesar das pequenas diferenças que possa existir entre os dois, estes são indissociáveis, de modo que, uma pequena alteração afecta todo o sistema.

IV. 2.1. Situação Portuguesa

Em Portugal o regime de uso do solo estabelecido no Decreto-Lei nº. 80/2015, de 14 de Maio, refere que o regime de uso do solo é definido, designadamente nos planos municipais de Ordenamento do Território através da classificação e da qualificação do solo.

O acima referido leva-nos a concluir que, o regime de uso do solo representa um instrumento de gestão territorial de elevada importância que justifica a produção cartográfica de uso e ocupação do solo, sob a responsabilidade da Direcção Geral do Território (DGT).

De facto, no domínio de produção e divulgação de cartografia de uso e ocupação do solo em Portugal, merece destaque a DGT. Na verdade, esta entidade tem como tarefa principal a produção (a nível nacional), manutenção dos dados relacionados com a informação geográfica e ainda, a divulgação dos mesmos.

A este organismo, compete, a promoção de cartografia de média escala (1:10 000), e regular cobertura com ortofotos de Portugal Continental, sem esquecer a aquisição regular da cartografia temática, nomeadamente, a Carta de Ocupação do Solo (COS) e *Corine Land Cover (CLC)*.

Compete ainda, à DGT, o acompanhamento de diversas actividades ligadas ao Ordenamento do Território, como é disso exemplo, o apoio técnico na definição de política de ordenamento do território; o acompanhamento e avaliação do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT)²⁵; apoio técnico e acompanhamento das políticas de desenvolvimento territorial de âmbito comunitário e internacional.

Sem querer aprofundar muito acerca desta instituição, importa apenas sublinhar que, a este organismo, compete a produção, divulgação e actualização de cartografia

²⁵ Caracteriza-se por estabelecer o modelo de organização territorial. Na verdade, constitui um instrumento de gestão territorial que define os objectivos e opções estratégicos, sendo deste modo considerado uma referência para os demais programas e instrumentos com incidência territorial.

homologada com incidência a todo o país, estando deste modo no centro da elaboração da cartografia disponibilizada, tendo desta forma a responsabilidade máxima de concretização e divulgação de informação cartográfica sobre o uso e ocupação do solo em Portugal.

Posto isto, de seguida, apresentam-se algumas definições dos conceitos de uso e ocupação do solo, dado que, o objectivo principal deste estudo consiste sobretudo na classificação multitemporal e intra-anual das classes de uso e ocupação do solo no Município de Almada.

IV. 2.2. Uso do Solo

Por uso do solo entende-se, um conjunto de características ou actividades humanas com representação no espaço geográfico. De ponto de vista de Detecção Remota passiva, quando se efectua a classificação de uso do solo com base numa imagem de satélite, está-se sobretudo a identificar e a atribuir significados a essas actividades, baseando-se sobretudo nas respostas espectrais de cada uma delas.

Numa perspectiva filosófica, a actividade relacionada com o uso do solo, reflecte sobretudo, actividades resultantes da cognição humana. De uma forma geral, o uso do Solo²⁶, representa parte da superfície terrestre que é utilizada²⁷ para a satisfação das actividades implementadas pelo Homem, nomeadamente, agricultura, residencial, desportiva etc.

Sabins (2007:387) alega que o uso do solo “descreve como uma parcela de Terra é usada (como para agricultura, residências ou indústria) ”.

Por sua vez, Donnay *et.al*, (2001:103), salientam que, o uso do solo “refere-se a actividade humana que ocorre ou utiliza essa terra (por exemplo, comercial, residencial, industrial) ”. De acordo com esta definição, é legítimo afirmar que o uso do solo se refere à “marca” introduzida pelo Homem na paisagem (entenda-se uma parcela de Terra), de forma a tirar o máximo de proveito para o seu bem-estar.

Esta definição encontra similaridades com a definição apresentada pela *FAO*, que o define como “arranjos, actividades e insumos que as pessoas realizam em um certo tipo

²⁶ *Land Use* na terminologia inglesa

²⁷ Sendo que esta utilização corresponde na maioria das vezes a uma utilização/exploração económica do espaço com actividades desenvolvidas para responder as necessidades do Homem.

de cobertura da terra para produzir, alterar ou manter. A definição do uso do solo nessa perspectiva estabelece uma ligação directa entre a ocupação do solo e as acções das pessoas” (Di Gregorio e Jansen 2000).

IV. 2.3. Ocupação do Solo

Ao contrário do uso do solo, a ocupação do solo²⁸ representa a ocupação de uma dada parcela da superfície terrestre, sem que esta esteja dependente da cognição humana, embora, o uso e ocupação do solo andem lado a lado, ainda assim, os dois conceitos apresentam algumas particularidades que os permite distinguir. Na verdade, a ocupação do solo não envolve o Homem enquanto o uso do solo implica a sua interferência, implica actividades económicas, implica fruição e alterações do espaço, forma, função etc.

Ao contrário do uso do solo, a ocupação do solo “descreve os materiais (como vegetação, rochas ou edifícios) que estão presentes na superfície. Por exemplo, a ocupação do solo na área pode ser floresta sempre verde, mas o uso do solo pode ser madeireiro, recreação, extracção de petróleo ou várias combinações de actividades” (Sabins 2007:387).

Donnay *et. al* (2001:103), alegam que a ocupação do solo refere-se a “um material físico na superfície de uma determinada parcela de terra”.

O conceito de ocupação do solo é frequentemente definido como, a cobertura (bio) física observada na superfície terrestre, que muda consoante as modificações nela introduzida através das actividades humanas, embora, a sua existência ultrapasse a decisão do homem, apesar de ser condicionada por este.

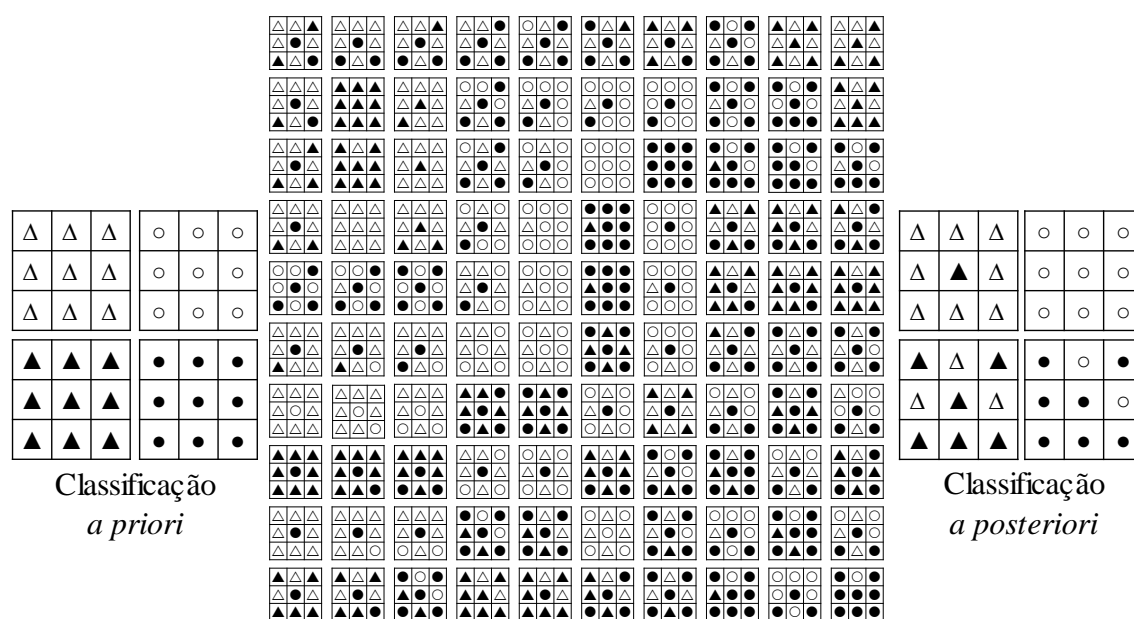
Partindo das definições acima apresentadas, é legítimo afirmar que, a ocupação do solo, corresponde a todas as características biofísicas (rios, florestas, montanhas, oceanos etc) presentes na superfície terrestre, cuja existência antecede a da humanidade, embora, sofrem os efeitos da acção humana, através das explorações efectuadas por via do uso do solo.

²⁸ *Land Cover* na terminologia inglesa

IV. 2.4. Classificação *a priori* e Classificação *a posteriori*

A classificação do uso e ocupação do solo pode ser efectuada com base em dois métodos de classificação (*a priori* e *a posteriori*). A classificação *a priori* caracteriza-se por ser um método em que as classes são definidas antes da recolha dos dados. Na verdade, com este método, todas as categorias são estabelecidas antecipadamente. Com esta forma de classificar, o usuário é “forçado” a incluir de forma coerente as diversas possibilidades dentro de uma de cada quatro classes representadas na figura 19.

Figura 19: Classificação *a priori* e classificação *a posteriori*.

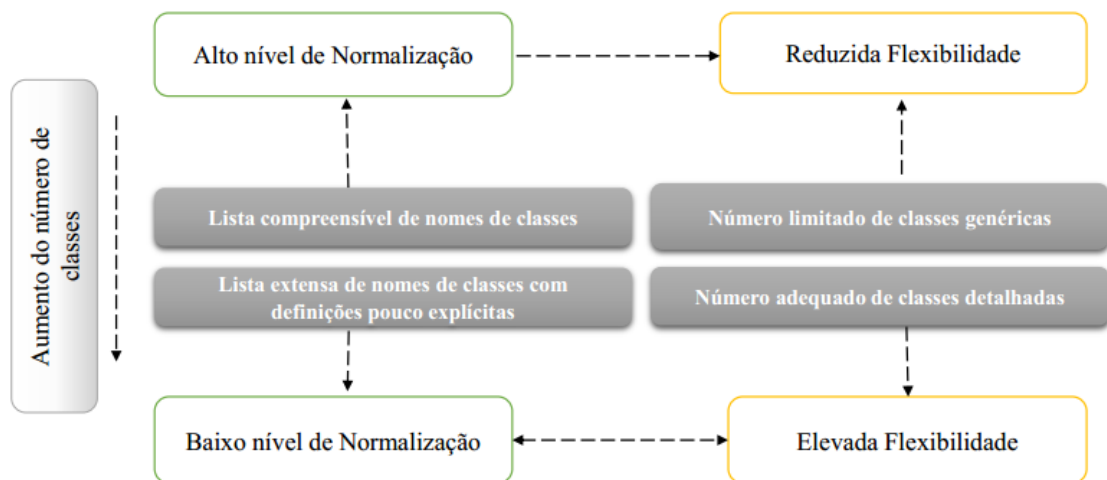


Adaptada de Kuechler e Zonneveld, 1988

De acordo com a figura 19, com a classificação *a priori* é-se “forçado” a efectuar o melhor ajuste de uma das cem possibilidades no campo em uma das quatro classes, o que pode resultar na selecção de uma classe que não representa bem a situação real.

A vantagem desta classificação reside, sobretudo, no facto de ser possível normalizar os dados independentemente dos métodos aplicados no processo de recolha dos dados. Aqui, importa também sublinhar que a aplicação da classificação *a priori* como instrumento de alto nível de normalização, origina uma flexibilidade reduzida o que também é afectada por um número limitado de classes de uso e ocupação do solo, como é demonstrado na figura 20.

Figura 20: Limitações das classificações *a priori* quanto à sua flexibilidade.



Adaptada de Di Gregorio e Jansen 2000

No que respeita a classificação *a posteriori*, ao contrário da classificação *a priori*, baseia-se na maior flexibilidade no processo de classificação, com uma generalização mínima, adaptando a uma área específica. Esta particularidade acaba por representar uma desvantagem, dado que, contribui para a reduzida capacidade em normalizar as classes, “uma vez que depende de condições específicas da área a que se aplica, perde a capacidade de definir classes normalizadas, o que dificulta a comparação com outros produtos cartográficos” (Di Gregorio e Jansen:2000).

Sem querer aprofundar muito as duas abordagens, importa sublinhar que os dois métodos apresentam as suas vantagens e desvantagens que podem ser adaptadas aos diferentes cenários relativos à classificação. Porém, a classificação *a priori* aparenta ser a mais indicada face aos objectivos da presente Tese, onde se pretende explorar a classificação *GEOBIA* em imagens multitemporais.

IV. 2.5. Sistemas de Classificação Hierárquica e Não Hierárquica

A segmentação ou partição dos objectos em segmentos homogêneos de ponto de vista de resposta espectral representa, uma das características fundamentais deste novo paradigma. Tal característica possibilita, uma análise das relações hierárquicas entre os super objectos e os seus respectivos subobjectos. Na verdade, a construção de um objecto a partir da imagem de satélite é, sobretudo, o resultado da fusão dos subobjectos de nível inferior, dando origem a um super objecto de nível hierárquico superior.

Assim, numa classificação *GEOBIA*, os dados resultantes dos sensores de observação da Terra, podem ser classificados de duas formas. Assim, é legítimo afirmar que os sistemas de classificação de uma imagem podem ser divididos em dois tipos:

1 – Sistemas Hierárquicos e;

2 – Sistemas não Hierárquicos

De ponto de vista do desempenho, num sistema hierárquico, um super objecto, é nada mais nada menos que o reflexo da fusão dos subobjectos dessa mesma categoria. Na verdade, em cada nível hierárquico, são levados em consideração os critérios a utilizar, sendo que no nível superior são utilizados um número mais reduzido de critérios comparativamente aos níveis inferiores.

Drăguț *et. al*, (2014:121) defendem a ideia de que, numa relação hierárquica, “constrói-se cada nível hierárquico na imagem objecto que já foi criado no nível anterior, que poderia ser o nível acima na abordagem *top-down* (ou seja, segmentar objectos de imagem de escalas mais amplas para baixo) ou o nível mais fino em uma sequência *bottom-up* (ou seja, integrar objectos de imagem para cima) ”.

De uma forma geral, com os sistemas de classificação hierárquica, os subobjectos, mantêm uma estreita ligação com os super objectos, “herdando” as características dos mesmos, verificando uma consistência relativamente à inclusão de diferentes níveis que compõem uma relação entre os objectos de nível superior com os subobjectos que compõem o nível inferior. De facto, uma das vantagens *GEOBIA*, comparativamente ao método *pixel a pixel*, reside sobretudo, na classificação hierárquica dos objectos, permitindo deste modo, uma análise multi-escala.

Na verdade, a classificação hierárquica, multi-escala ou multiresolução constitui uma tarefa, que resulta da conjugação de dois critérios fundamentais, nomeadamente,

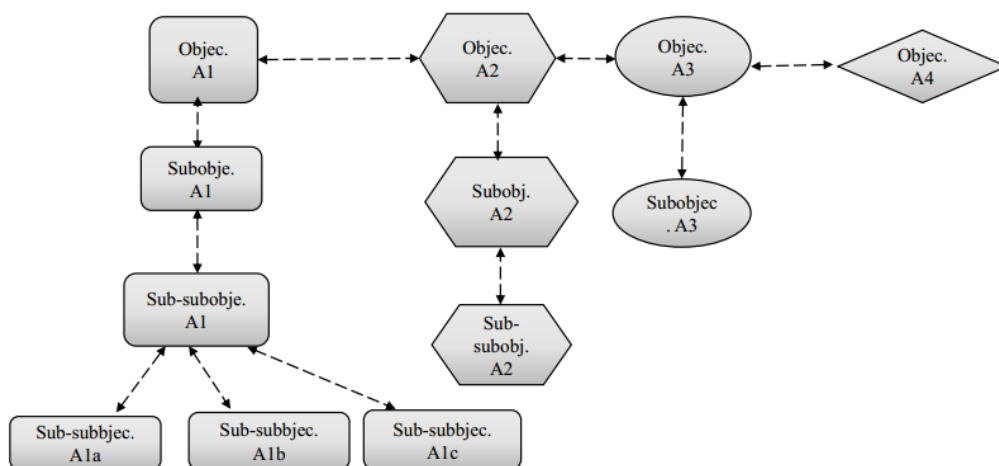
heterogeneidade espectral (que leva em consideração o peso da cor em relação a forma do objecto) e heterogeneidade espacial (com especial atenção para a forma dos objectos, onde entram os aspectos relacionados com compactidade e suavidade).

A importância atribuída a estrutura hierárquica dos objectos na classificação baseada em *GEOBIA* é um aspecto importante e inerente à própria metodologia. Nesta linha de raciocínio, Baatz e Schape (1999:19) salientam que, “representa a informação dos dados em diferentes resoluções simultaneamente. Cada objecto “conhece” o seu contexto os seus vizinhos e os seus subobjectos”.

Aqui, torna-se essencial, referir que, a segmentação de imagem tem tido um papel central em diferentes áreas do saber, sobretudo, na partição de imagens em regiões ou objectos com características internas significativas e propriedades únicas diferenciando-se assim dos objectos vizinhos.

De ponto de vista prático, numa relação hierárquica, o *software eCognition*, possibilita a parametrização da iteração entre os processos pais e filhos, isto é, possibilita a interacção entre os super objectos (o todo), com os seus subobjectos (as partes) numa lógica *top-down* (figura 21).

Figura 21: Relações hierárquicas entre os super objectos e os seus subobjectos.

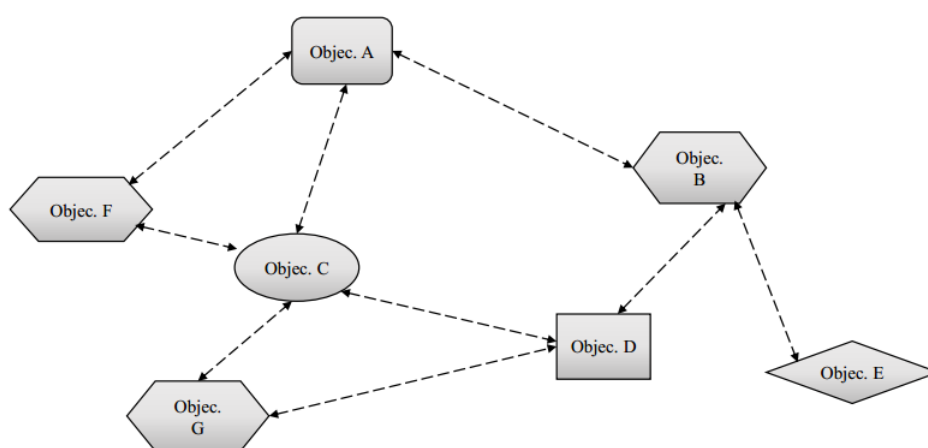


Por sua vez, as relações não-hierárquicas, correspondem, a um processo em que não exista um sistema de classificação rígido e permite-nos uma maior aproximação da realidade. De uma forma mais ampla, as relações não-hierárquicas reflectem a iteração entre objectos vizinhos nas designadas relações contextuais (figura 22).

No *software eCognition*, as relações não-hierárquicas caracterizam-se pela não iteração entre os processos “pais e filhos” (*parent/child*), característica exclusiva das relações hierárquicas.

Assim, numa lógica de classificação *GEOBIA*, as relações não-hierárquicas, embora importantes acabam por não desempenhar um papel importante para o objectivo desta Tese, dado que, pretende-se através do *eCognition*, classificar imagens com recurso ao algoritmo multiresolução (*multiresolution segmentation*), que tem por base uma lógica hierárquica entre os objectos e os seus subobjectos.

Figura 22: Relações não-hierárquicas entre objectos.



Apesar do *software eCognition* se caracterizar por uma classificação hierárquica dos objectos, é de referir que, os dois sistemas de classificação são importantes para a compreensão das relações entre os objectos, podendo estas relações, serem internas (entenda-se entre objectos), ou contextuais (entre objectos vizinhos), úteis à produção da cartografia de uso e ocupação do solo.

IV. 2.6. A Carta de Ocupação do Solo (COS)

A Carta de Ocupação do Solo de Portugal (COS) foi iniciada em 1990 (tendo sido produzida pelo Centro Nacional de Informação Geográfica – CNIG) e foi sendo

actualizada nos anos posteriores²⁹, tendo a primeira actualização decorrida em 1995, seguida de 2007, 2010 e actualmente 2015, tendo registado alterações nas especificações técnicas ao longo dos anos³⁰. A COS foi realizada a uma escala de 1:25000 pela Direcção Geral do Território (DGT), tendo como base cartográfica a fotografia aérea vertical a uma escala de 1:15000. A unidade mínima ou área mínima de análise, de forma a permitir discriminar uma classe, corresponde a 1 ha, com distâncias entre linhas igual ou superior a 20 metros, em que a percentagem de uma dada classe de uso e ocupação do solo, deve ser igual ou superior a 75% da área do polígono em que a classe se encontre inserida.

De uma forma geral, a COS, representa uma cartografia onde se apresentam as diferentes unidades de ocupação do solo em formato de polígonos, de acordo com uma percentagem de “domínio”. Neste estudo, optou-se por utilizar a nomenclatura COS2015, para efeitos de classificação do uso e ocupação do solo. Apesar das características da COS, ainda assim é necessário questionar a capacidade de respostas das classes representadas em matéria de classificação do solo.

Assim, uma das questões que aqui se deve colocar, está intimamente relacionada com as classes “Tecido Urbano Contínuo e Tecido Urbano Descontínuo” ambas do Nível III da Nomenclatura da Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2015 (COS2015). Na verdade, a classe Tecido Urbano “consiste essencialmente em zonas construídas de tipologia urbana (casas edifícios áreas de estacionamento logradouros, etc.). Estas áreas podem ser classificadas em áreas de tecido urbano contínuo e tecido urbano descontínuo.” (DGT, 2018a).

Ora, com base na ideia acima apresentada acerca da classe tecido urbano, é legítimo colocar a seguinte interrogação: até que ponto a classe Tecido Urbano responde às necessidades do planeamento urbano?

De facto, não ficou explícito o conceito de urbano, dado que, a desagregação desta classe em contínuo e descontínuo para efeitos de classificação, não deve ser centrada apenas em tipos de agregados familiares (unifamiliar e plurifamiliar), de modo que, a não inclusão de outras tipologias, nomeadamente, estacionamento, logradouro, acaba por levantar dúvidas acerca da consistência das classificações do tecido urbano seja ele contínuo ou descontínuo. Contudo, cientes dessa lacuna, a nossa análise será direccionada

²⁹ De referir que, de acordo com a DGT, a COS 1990, não pode ser comparada as outras, dado que, apresenta erros de posicionamento

³⁰ As especificações técnicas da COS 2015 é idêntica a COS anteriores ver anexo 5

para determinação das classes urbano contínuo e descontínuo, com base apenas na tipologia de construção (unifamiliar e plurifamiliar).

Com cinco níveis de desagregação das classes, segundo a DGT (2018) a COS2015 apresenta cinco grandes temas (“1 – Território Artificializado, 2 – Áreas Agrícolas e agro-florestais, 3 – Florestas e meios naturais e seminaturais, 4 – Zonas húmidas e 5 – Corpos de água”), cuja agregação máxima da nomenclatura, contém 48 classes correspondendo ao nível 5 (ver quadro 10).

Quadro 10: Legenda COS2015 (Territórios artificializados – máxima desagregação (Nível 5).

Territórios artificializados (Nível 5 – máxima desagregação)	
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo
1.2.1.00.0	Indústria, Comércio e equipamentos gerais
1.2.2.00.0	Rede Viária e espaços associados
1.2.3.00.0	Áreas portuárias
1.2.4.00.0	Aeroportos e Aeródromos
1.3.1.00.0	Áreas de extracção de inertes
1.3.2.00.0	Áreas de deposição de resíduos
1.3.3.00.0	Áreas em construção
1.4.1.00.0	Espaços Verdes Urbanos
1.4.2.01.0	Campo de golfe
1.4.2.02.0	Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer
1.4.2.03.0	Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas

Fonte: (DGT, 2018a)

Relativamente aos limites da COS, na fronteira com a Espanha são consideradas “os da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) e na fronteira marítima são definidos por fotointerpretação. De modo a incluir-se todas as ilhas e ilhéus ao largo da costa portuguesa e manter a consistência com a cartografia CORINE Land Cover criou-se uma faixa de 25 km de extensão de oceano a partir da linha de costa fotointerpretada” (DGT, 2018a). Aqui, importa sublinhar que, os limites apresentados pela COS e CAOP, têm apenas valor formal para efeitos científicos, e informal para efeitos administrativos. Nem a COS nem a CAOP definem limites porque a DGT não tem competências jurídicas para propor e definir limites, tendo apenas competência para os representar de acordo

com o que emana da Assembleia da República (como é exemplo disso a Doutrina Talvegue).

IV. 2.7. Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (CARTUS-AML)

Definida como uma carta de uso do solo, a CARTUS-AML foi concebida a uma escala de 1:25000 e, integra um conjunto de 19 classes de uso do solo, para 1990, tendo sido actualizada em 1998, com recurso ao processamento digital e a análise visual estereoscópica de fotografia aérea vertical.

Ao contrário da COS2015, a CARTUS-AML contém 19 classes de uso do solo, não apresenta um sistema de classificação hierárquica, de modo que, as classes que contém apresentam uma desagregação próxima da escala de análise (ver quadro 11)

Quadro 11: Legenda CARTUS-AML.

Classes
Área Agrícola
Área de Actividade Agrícola Abandonada, Incultos e Vazios Urbanos
Área de Extracção de Inertes
Área de Grandes Equipamentos e Infra-estruturas
Área de Mato
Área de Montado
Área Edificada Consolidada Antiga
Área Florestal e Matas
Área Militar
Área Multifuncional Metropolitana
Área Portuária, Industrial ou de Armazenagem
Área Residencial de Edifícios Plurifamiliares
Área Residencial de Edifícios Unifamiliares
Área Verde Urbana
Grandes Superfícies Comerciais
Loteamentos
Planos de Água, Marinhas e Salinas
Praias, Arribas e Formações Vegetais Costeiras
Sapal e outras Áreas Alagadas

Fonte: Tenedório *et.al* 1999

IV. 2.8. Inventário *Corine Land Cover* (CLC)

Com o intuito de produzir uma cartografia integrada, baseada em normas e especificações técnicas idênticas em todos os estados membros da U.E, criou-se o inventário *CORINE Land Cover* (CLC), cujo objectivo é, reunir todas as informações referentes a classificação do solo ao nível comunitário, nacional e regional.

O inventário CLC traduz a classificação do solo³¹ em todos os estados membros. Iniciado nos anos 80 pela *Joint Research Center (JRC)* e *European Environment Agency (EEA)*, pretende disponibilizar informações referentes a ocupação do solo a todos os estados membros.

Produzida a uma escala de 1:100000, corresponde a uma carta temática de ocupação do solo para toda a Europa, baseada na interpretação visual de dados disponibilizados pelo satélite *Landsat* (*Multispectral Scanner – MSS* e *Thematic Mapper – TM*) e informação auxiliar, cuja área mínima de análise corresponde a 25 ha.

Tal como a COS2015, as classes CLC, seguem uma estrutura hierárquica, composta por três níveis de desagregação das classes (quadro 12).

Quadro 12: Níveis hierárquicos do inventário CORINE Land Cover.

Nível 1	5 Classes
Nível 2	15 Classes
Nível 3	44 Classes

Fonte: EEA, (1994:4)

No nível 1 da classificação hierárquica do inventário CLC, encontra-se a máxima agregação das classes, traduzidas em quatro temas principais como está patente no quadro 13.

³¹ Entenda-se o estado da informação referente ao ambiente ao nível comunitário.

Quadro 13: Temas *CORINE Land Cover*.

Territórios Artificializados
Áreas com Ocupação Agrícola
Florestas e meios-seminaturais
Meios aquáticos

O critério utilizado para a identificação das classes tecido urbano diferem do utilizado com a COS, isto porque, a *CLC* estabelece um limite mínimo de 80%, para que uma área seja considerada impermeabilizada.

Daqui, decorre a necessidade de deixar claro que, uma vez que a nomenclatura apresentada pelo inventário *CLC*, não responder a nomenclatura adoptada para o objectivo desta Tese, a mesma não será seguida, embora, o conhecimento da sua existência é de extrema importância no âmbito de um projecto de classificação de uso e ocupação do solo.

IV. 2.9. Inventário Florestal Nacional (IFN)

Iniciado em 1965, o inventário Florestal Nacional corresponde a iniciativa levada ao cabo pela Direcção Geral das Florestas (DGF), actualmente, Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF). É no fundo “um processo estatístico e cartográfico, que tem por objectivo avaliar a abundância, estado e condição dos recursos florestais nacionais” (ICNF). Desde o seu início, foram realizados vários IFN, com destaque para os mais recentes (IFN 6, 5 e 4).

Os inventários florestais consistem em “mecanismos” com informação auxiliar para o auxílio à actualização do uso e ocupação do solo e caracterização de classes de ocupação agrícola. De uma forma geral, os inventários florestais têm por objectivo, fornecer informações acerca da Produção Florestal de bens, Áreas de Ocupação do Solo em Portugal, Estruturas Florestais entre outros assuntos.

O IFN tem por tarefa principal, monitorizar as condições e as dimensões florestais em Portugal continental, com especial foco no desenvolvimento sustentável. Da sua

realização, resultaram diversos produtos com informação auxiliar a Ordenamento do Território, como é exemplo disso, as cartas de uso e ocupação do solo a escala de 1:1 000 000, a aplicação AreaStat³² (4º IFN), FloreStat (que apresenta os resultados do 5º inventário florestal) com informação sobre a área florestal.

Por sua vez, o 6º Inventário Florestal centrou-se sobretudo numa análise e actualização do uso e ocupação do solo e caracterização de classes de ocupação agrícola, através de um processo multitemporal, compreendendo os seguintes períodos (1995, 2005 e 2010).

Após essa breve descrição das diferentes nomenclaturas de uso e ocupação do solo, é de sublinhar que, existem outras nomenclaturas que aqui não foram abordadas, apesar de terem uma importância substancial em matéria de classificação do solo, como é exemplo disso a *Globcover*.

Assim, com base nos objectivos definidos para este estudo, a nomenclatura a seguir será a COS2015, embora, permaneça a dúvida relacionada com a classe Tecido Urbano, uma vez que, desagregada apenas em tecido urbano contínuo e tecido urbano descontínuo no Nível III da COS, permanece a dúvida acerca da não inclusão de outras classes pertencentes ao Tecido Urbano, o que levanta dúvidas acerca da classificação destas classes.

Contudo, apesar da plena noção acerca deste “problema”, ainda assim, para efeitos de testes, como foi referido anteriormente, será aplicada a nomenclatura COS2015, como a base para a classificação do uso e ocupação do solo em dados multitemporais intra- anuais.

³² Cujas finalidades é disponibilizar os valores das áreas da ocupação do solo para Portugal continental

IV. 3. Dados

Como referido no capítulo introdutório, a presente Tese, parte do pressuposto de que abordagem *GEOBIA* ao contrário da abordagem *pixel a pixel* possibilita uma melhor representação espacial com dados multitemporais intra-anuais *Sentinel-2*. Neste sentido, experimentaram-se, quatro imagens *Sentinel-2* (Verão, Outono, Inverno e Primavera) para o município de Almada (quadro 14).

Quadro 14: Imagens em Bruto para a classificação multitemporal.

Data	Imagem	Estação	Satélite
18 Janeiro 2017	S2A_MSIL1C_20170118T113411_N0204_R080_T29SMC_20170118T113659.SAFE	Inverno	<i>Sentinel-2</i>
19 Março 2017	S2A_MSIL1C_20170319T113311_N0204_R080_T29SMC_20170319T113813.SAFE	Primavera	<i>Sentinel-2</i>
24 Julho 2017	S2A_MSIL1C_20170724T112121_N0205_R037_T29SMC_20170724T112433.SAFE	Verão	<i>Sentinel-2</i>
22 Outubro 2017	S2A_MSIL1C_20171022T112121_N0205_R037_T29SMC_20171022T112802.SAFE	Outono	<i>Sentinel-2</i>

Contudo, e atendendo a necessidade inicial deste estudo, que consiste sobretudo, na exploração de dados *Sentinel-2* de imagens multitemporais a que propomos concretizar com este estudo, procedeu-se a melhoria dos valores dos *pixels* de todas as bandas que servirão de objecto de estudo. O quadro 15 descreve as características dos dados “brutos” utilizados para este estudo.

Devido a diversos factores nomeadamente, distorções geométricas, radiométricas entre outros, os dados em bruto não se adequavam aos objectivos da presente Tese. Neste sentido, foi necessário efectuar as correcções necessárias, embora, uma vez que as imagens se encontram geometricamente corrigidas, apenas foi necessário corrigir radiometricamente os dados, com o intuito de melhorar os valores dos *pixels*.

Quadro 15: Características Gerais da Imagem Original.

Características Gerais da Imagem original	
Sistema de Coordenadas = GS_1984_UTM_Zone_29N	Nº Colunas =10980
Zona = 29 N	Nº Linhas =10980
Projecção e elipsoide = UTM WGS 84	Cell size (X, Y) = 10, 10
Unidades = metros	

A correcção radiométrica decorreu sobretudo na fase de pré-processamento dos dados. Basicamente, nesta fase normalizou-se os dados de acordo com os objectivos estabelecidos para o presente estudo, tendo recorrido ao *software SNAP*.

IV. 3.1. Pré-processamento das Imagens

Conforme referimos no capítulo anterior existem várias fases dentro do pré-processamento, porém, o nosso objectivo centrou-se nas três fases frequentemente utilizadas, nomeadamente, recolha e análise dos dados (imagens); correcção geométrica e correcção radiométrica dos dados. Entendemos que só depois deste passo se estará em condições de efectuar a segmentação e classificação das imagens, análise e interpretação dos resultados.

Na verdade, “em quase todos os casos, existem certas operações de pré-processamento que são executadas nos dados brutos de uma imagem antes da sua utilização em qualquer aperfeiçoamento, interpretação ou análise” Lillesand *et.al* (2015:488). Na verdade, o pré-processamento dos dados é uma tarefa imprescindível e essencial quando se trabalha com dados de Detecção Remota, isto porque, permite uma maior credibilidade e consistência dos dados a trabalhar.

No fundo, trata-se de uma fase preliminar que antecede a operação principal e tem por finalidade, a normalização dos dados, através de inúmeras fases, embora aqui, a nossa atenção tenha sido centrada essencialmente na correcção radiométrica das imagens, isto é, na fase que possibilitou o ajuste dos valores radiométricos dos *pixels* das imagens. Na verdade, o que se efectuou é nada mais nada menos que, a conversão dos valores digitais das imagens em valores radiométricos.

Para esta fase, utilizou-se o *software SNAP (Sentinel Applications Platform)* e do algoritmo (processador) *Sen2Cor*, sendo que uma das razões que nos levou a utilizar este *software*, deve-se em parte ao facto de estar direccionado sobretudo para a correcção dos dados provenientes do sensor *Sentinel-2*.

Com a aplicação do *SNAP* e do processador *Sen2Cor*, foi possível efectuar a conversão dos valores digitais em radiométricos, de forma simples e eficaz. Embora, de referir que, o tempo de correcção dos valores dos *pixels* é muito superior para as bandas com 10 metros de resolução espacial.

Uma outra razão pelo uso do *SNAP* resultou do interesse em explorar o desempenho do mesmo, perante os dados *Sentinel-2* e também pelo facto de possibilitar várias tarefas nomeadamente, adição e manipulação de várias camadas de informação e suporte, diferentes servidores e serviços de mapa (como é disso exemplo, *WMS*, *ESRI* entre outros). No ponto abaixo será dada ênfase a correcção radiométrica através do uso do *SNAP*.

IV. 3.2. *SNAP (Sentinel Application Platform)*

Uma imagem de satélite carece sempre de um tratamento preliminar com o intuito de corrigir as diferentes distorções que possam conter. Partindo desse pressuposto, no presente estudo, efectuou-se a correcção radiométrica com o intuito de corrigir as possíveis distorções atmosféricas que estariam associadas às imagens em análise.

Chuvieco, (1995:246) defende que, a correcção atmosférica “é interessante em três tipos de situações: i) quando se pretende realizar combinações entre as bandas; ii) quando se pretende estabelecer modelos que relacionem os níveis digitais com determinados parâmetros físicos: temperatura, biomassa, humidade do solo, clorofila na água etc. iii) quando se realiza estudos multitemporais”.

De ponto de vista prático, na fase de tratamento das imagens obtidas a partir da plataforma *USGS*, recorreu-se ao *software SNAP* desenvolvido pela Agência Espacial Europeia³³. Este *software*, tem ocupado uma posição central nos estudos com dados *Sentinel-2*.

³³ Do Inglês *European Spatial Agency-ESA*

De uma forma geral, caracteriza-se por ter um conjunto de ferramentas desenvolvidas para auxiliar a utilização, visualização e processamento de um conjunto de dados de Detecção Remota.

As funcionalidades deste *software*, são obtidas através da caixa de ferramentas do *Sentinel*, que tem por finalidade, complementar as funções dedicadas ao manuseamento de dados resultantes dos satélites de Observação da Terra.

A caixa de ferramentas do *Sentinel* é composta pelos seguintes componentes:

- A ferramenta da linha do comando *gpt* (*graph processing tool*), usada sobretudo para produzir gráficos de processamento;
- Uma aplicação *Java*, que permite o fornecimento dos componentes para uso e desenvolvimento de aplicações ligadas a Detecção Remota e *plug-in* para novos módulos de extensão *SNAP*;
- Uma aplicação *Desktop* para Visualização, análise e processamento dos dados de Observação da Terra, entre outros aspectos.

Aqui, importa sublinhar que, para a importação de dados, o *SNAP* utiliza o formato *BEAM-DIMAP*³⁴, um formato simples, que facilita a importação de dados em outras aplicações.

Posto isto, é importante observar que, a opção pela utilização do *SNAP*, partiu de uma decisão ponderada, em que a qualidade e quantidade dos parâmetros que o mesmo apresenta, contribuíram, decisivamente para a sua utilização, sem esquecer também a facilidade e o facto de ser um *software Open Source*.

Aqui, importa sublinhar a importância que *Open Source* e as políticas de Dados abertos possuem. Na verdade, o *Open Source*³⁵ é um conceito utilizado para designar um *software* de código fonte aberto a qualquer utilizador (o que implica que qualquer utilizador, possa analisar até mesmo, proceder algumas modificações que entender benéfico para o enriquecimento do software). Apesar de possibilitar as modificações por parte do utilizador, ainda assim, é importante sublinhar que *Open Source* não significa *Software Livre*.

³⁴ Um formato *standard*, com uma estrutura muito simples de entender.

³⁵ Movimento que surgiu em 1983, iniciado por Richard Stallman. Criada pela *Open Source Initiative* (OSI) a partir da *Debian Free Software Guidelines* (DFSG).

A ideia de *Software Livre* adoptada pela Free Software Foundation, define-o como uma questão de liberdade (que implica acesso ao código fonte) e não de preço. Na verdade, um software apenas é livre se cumprir um certo número de liberdades, nomeadamente: a liberdade de executar o programa se desejar; a liberdade de estudar como o programa funciona e adaptá-lo às minhas necessidades; a liberdade de redistribuir as cópias de forma a auxiliar a comunidade de utilizadores; a liberdade de distribuir as cópias modificadas de forma a contribuir para incrementar o desempenho da comunidade.

No que concerne à política dos Dados Abertos, tal como os *Open Source*, apresenta uma grande importância, no sentido em que, possibilita uma maior participação dos utilizadores. Na verdade, essa ideia baseia-se no princípio de que os dados (informações) devem ser postas à disposição dos interessados para que livremente possam ser utilizados e reutilizados.

A nível europeu, existe um portal de dados abertos³⁶, que é o ponto de acesso único aos dados das instituições e organismos da União Europeia, disponibilizados gratuitamente para a utilização e reutilização por parte dos diferentes *stakeholders*.

IV. 3.2.1. Processador Sen2Cor

Como anteriormente referido, o *software SNAP*, tem incorporado o *plugin Sen2Cor*, capaz de permitir a correcção dos dados *Sentinel-2*, de forma rápida e ordenada. Além das potencialidades em matéria de correcção radiométrica, permitindo também, uma melhor organização dos *outputs*, através da criação de pastas individuais onde são guardadas imagens para as respectivas resoluções espaciais. No caso específico das imagens utilizadas, foram efectuadas doze correcções radiométricas, três³⁷ para cada estação em análise (Outono, Inverno, Primavera e Verão).

De uma forma geral, o processador *Sen2Cor* permite não só conceber produtos *Sentinel-2 Level 2A*; como também, permite a correcção atmosférica, de terreno e de cirrus dos dados de entrada do *Level 1* de *Top-Of-Atmosphere*.

Na verdade, cria imagens de reflectância corrigidas da *Base-Of-Atmosphere (BOA)*, cujo formato do produto de saída é equivalente ao produto de usuário *Level 1C*: imagens JPEG 2000, com três resoluções diferentes, 60, 20 e 10 m. O ficheiro resultante

³⁶ <https://data.europa.eu/euodp/pt/data> (disponível em 24 línguas oficiais da UE)

³⁷ Refere-se aos números de resoluções espaciais dos dados *Sentinel-2* (10, 20, e 60)

da conversão de *L1C*³⁸ para *L2A*³⁹, contém várias pastas, das quais se destaca a pasta dos dados auxiliares, onde se encontra o ficheiro *Level 2A Ground_Image_Processing_Parameter (L2A_GIPP)*, que contém um arquivo com o parâmetro de calibração para a correcção atmosférica. Segundo Mueller *et. al* (2018:27) “este arquivo só deve ser alterado por usuários experientes”.

Apesar das recomendações dos autores, utilizou-se o ficheiro *L2A_GIPP* de forma a adaptar alguns valores dos parâmetros apresentados, com o intuito de “responder” ao objectivo da Tese, embora, não tenha sido necessário alterar todos os campos dos parâmetros para a correcção das imagens em análise. De referir ainda que, alguns parâmetros foram sendo adaptados de acordo com a data da imagem, conforme se pode verificar com a descrição dos parâmetros da correcção.

IV. 3.2.2. Parâmetros de Correcção Radiométrica

Os processos adaptados para a correcção das imagens em análise, encontram-se descritos nos pontos abaixo.

- *Aerossol* – este parâmetro apresenta dois tipos de aerossóis, rural e marítimo. No caso específico em estudo, para todas as imagens, optou-se por utilizar o Aerossol do tipo rural (continente);
- *Mid Lat* – este parâmetro foi sendo adaptado consoante a data da imagem a ser corrigida no momento (*Winter* ou *Summer*);
- *Ozone* – o peso deste parâmetro não se alterou, tendo-se mantido um valor de concentração de ozono em 331 unidades Dobson⁴⁰. Na verdade, este valor corresponde ao designado de intervalo normal (que vai dos 300 – 500 unidades Dobson);
- *Water Vapour Correction* – manteve-se valor 1 apresentado por defeito;
- *VIS Update mode* – manteve-se valor 1 apresentado por defeito;
- *Water Vapour Watermask* – manteve-se o valor de referência 1 por defeito;

³⁸ Designadamente *L1C_T29SMC_A008228*

³⁹ Designadamente *L2A_T29SMC_A008228*

⁴⁰ A unidade Dobson corresponde, a medida mais utilizada na medição de concentração de ozono. Cada unidade corresponde a 0,02 mm de espessura atmosférica

- *Cirrus Correction* – para a correcção dos *cirrus*, utilizou-se a banda 10, devido a elevada transparência dos mesmos, o que dificulta ainda mais a sua detecção. Neste caso em específico a opção introduzida foi *TRUE*;
- *Bidirectional reflectance distribution function (Brdf) Correction* – sendo opcional, não foi necessário alterar este parâmetro;
- *Bidirectional reflectance distribution function (Brdf) Lower* – manteve-se o valor padrão de 0,22;
- *Visibility* – para este parâmetro, alterou-se o valor padrão de 23,0 km para 40,0 km. Contém um alcance dos 5 aos 120 km;
- *Altitude* – manteve-se o valor padrão de 0,1;
- *Water vapour thres cirrus* – para a correcção desse parâmetro a banda 10 desempenhou um papel fundamental, dado que, é a mais indicada para a correcção dos *cirrus* numa altitude que varia dos 0 aos 5 km. No caso específico do presente estudo, manteve-se o valor padrão de 0,25;
- *Dem directory* – Não se utilizou este parâmetro para efeito de correcção atmosférica efectuado;
- *Dem reference* – utilizou-se a referência padrão (http://data_public:GDdci@data.cgiar-csi.org/srtm/tiles/GeoTIFF/);
- *Dem Unit* – não se utilizou este parâmetro, uma vez que o seu uso é mais indicado para terrenos acidentados e também, requer a existência de outros dados, nomeadamente, informações relacionadas com o declive, sombra do terreno. Embora, o *Sen2Cor* esteja habilitado a efectuar o uso de dois DEM's.
- *Adjacency range* – manteve-se o valor 1,0 por defeito;
- *Smooth Water Vapour (WV) map* – manteve-se o valor 100,0 por defeito;
- *Generate TCI output* – manteve-se a opção padrão (*True*);
- *Generate Dense Dark Vegetation (DDV) output* – dado que é um parâmetro com mais interesse para especialistas, este, direcciona-se mais a correcção de espessura óptica de Aerossol. Assim, manteve-se a opção padrão (*False*).

Após a aplicação dos parâmetros de correcção radiométrica, nas figuras 23 e 24, encontram-se os resultados obtidos para as imagens em análise, cujo exemplo utilizado é a da banda 4 *Sentinel-2* de 18 de Janeiro de 2017.

Figura 23: Exemplo de imagem original *Sentinel-2* de 18 de Janeiro de 2017 sem correcção radiométrica.



No exemplo da figura 23, verificou-se numa primeira análise que, o *pixel* exemplo (sinalizado a vermelho), apresentava o valor bruto de 0,10220 dl^{41} , antes da imagem ser submetida à correcção radiométrica. Porém, após a aplicação dos parâmetros de correcção na imagem que serviu de exemplo, constatou-se uma alteração nos valores dos *pixels*, o que naturalmente foi constatado com o valor do *pixel* teste, que apresenta agora um valor de 0,09660 dl .

⁴¹ Corresponde ao nível digital (do inglês digital level)

Figura 24: Exemplo de imagem *Sentinel-2* de 18 de Janeiro de 2017 submetida a correcção radiométrica.



De uma forma geral, com a correcção radiométrica conseguiu-se alterar as características gerais dos dados brutos (*cf.* Quadro 14), conseguindo desta forma uma melhoria dos valores dos *pixels* (entenda-se as características gerais da imagem final, ver quadro 15), o que proporcionou uma maior confiança para o processo de análise estatística das bandas utilizadas.

O algoritmo utilizado pelo *SNAP* para a conversão de radiância em valores de reflectância dos objectos a superfície terrestre, é dado pela equação abaixo:

$$R_{TOA} = \frac{\pi L_{TOA}(\lambda)}{E_o(\lambda) \cos(\theta)} \quad \text{Eq: 2}$$

Onde: R_{TOA} representa a reflectância no topo da atmosfera E_o e θ correspondem a irradiância solar espectral e o respectivo ângulo zenital. O processo inverso ao descrito na equação acima permite, obter a irradiância.

Na verdade, com esta equação, o ângulo zenital do sol é obtido através do valor do *pixel* do produto de nível 1 (*Level1*), isto, para todos os sensores suportados pelo processador *Radiance-to-Reflectance*. Nalguns casos os valores da irradiância são

fornechos por *pixel* no caso dos produtos OLCI⁴² *levell*, extraídos dos metadados do produto *levell* no caso de produtos SLSTR⁴³, e extraídos de dados auxiliares no caso de produtos MERIS.

Posteriormente a correcção radiométrica dos dados, verificou-se uma melhoria nos valores dos píxeis das imagens a segmentar.

Assim, consideramos que, para efeitos de correcção radiométrica, o processador *Sen2Cor* possibilita de forma eficaz uma melhoria dos valores dos *pixels* para os dados *Sentinel-2*, permitindo um ganho considerável não apenas no tempo do processamento, como também, na organização dos *Outputs* para a fase seguinte (segmentação).

No quadro 16, encontram-se descritas as características gerais dos dados após a correcção radiométrica, tendo verificado uma melhoria dos valores em relação aos valores iniciais apresentados pelos dados originais, não sujeitos a correcção radiométrica.

Quadro 16: Característica imagem Final.

Características Gerais da imagem final	
Sistema de Coordenadas = WGS_1984_UTM_Zone_29N Zona = 29 N Datum = D_WGS_1984 Unidades = metros Extent = Top = 4300020 Left = 452487,847087 Right = 509757,847087 Bottom = 4190220	Nº Colunas =5727 Nº Linhas =10980 Cell size (X, Y) = 10, 10

IV. 3.2.3. Resample dos dados e Intersecção com Limites Administrativos

Após o processo de correcção dos valores dos *pixels* e com o intuito de facilitar as tarefas seguintes efectuou-se a reamostragem (*resample*) da imagem inteira, convertendo deste modo, as bandas cujo valor dos *pixels* é superior a 10 metros, para 10 metros de resolução espacial.

⁴² Da língua inglesa Ocean and Land Colour Instrument

⁴³ Da língua inglesa Sea and Land Surface Instrument

O *software ArcGIS 10.5*, incorpora quatro opções de parâmetros para o *resample* dos dados (*Nearest*, *Majority*, *Bilinear* e *Cubic*), todavia, optou-se pela técnica do vizinho mais próximo (*Nearest*).

Esta técnica é o mais rápido dos métodos de interpolação. É usado essencialmente para dados discretos, como uma classificação de uso do solo, isto porque, não altera os valores das células e também, pelo facto de, com este parâmetro, o erro espacial máximo corresponde a metade do tamanho da célula.

Com a aplicação desta técnica, constatou-se ainda que as imagens apresentavam uma resolução idêntica ao serem visualizadas lado a lado, o que facilitou bastante o exercício seguinte que consistiu sobretudo na identificação de aspectos comuns.

De facto, com este método a identificação dos pontos comuns entre às imagens bruto (sujeito a uma composição colorida *RGB*) e as sujeitas ao aumento de resolução é bastante intuitivo, no sentido em que, colocadas lado a lado, as células permitiam uma boa interpretação dos pontos em comum.

Aqui, é importante referir que, para a verificação dos pontos comuns entre as imagens bruto e as resultantes do *resample*, utilizou-se os *pixels* com maior brilho, tendo particular atenção às áreas de maior contraste.

Uma vez que as diferenças eram mínimas entre os dados brutos e os dados finais, tomou-se como válido a tarefa efectuada através da técnica de *resample* dos dados com uma resolução superior a 10 metros.

Apesar de ter sido uma tarefa efectuada após o *resample* dos dados, verificou-se novamente o ajuste dos limites da área de estudo, através da sobreposição com um ficheiro vectorial (CAOP 2016)⁴⁴ referente ao Município de Almada.

Após a verificação da concordância com os limites de um ficheiro vectorial, procedeu-se ao corte (tendo utilizado a função *clip*) da imagem, utilizando para o efeito o ficheiro vectorial com os limites do município e a função *Extract by mask* incorporado no *software ArcGIS*.

Posteriormente ao corte da imagem pela área de estudo, verificou-se que as diferenças entre as imagens eram mínimas, sendo que uma das razões para esse efeito,

⁴⁴ Disponibilizado pela DGT, aprovada nos termos dispostos na alínea I) do nº 2 do Artigo 2º do Decreto regulamentar nº 30/2012 de 13 de Março, aprovada por Despacho do Director Geral do Território, datado de 2016-07-19.

resultou, sobretudo, do processo de aumento da resolução (*resample*) das bandas para 10 metros. Posto isto, nas figuras 25 e 26, observam-se as imagens referentes ao corte pela área dos limites administrativos, em composição cor verdadeira (bandas 4, 3 e 2) (figura 25) e falsa cor (bandas 8, 3 e 2) (figura 26).

Figura 25: Composição Cor Verdadeira.

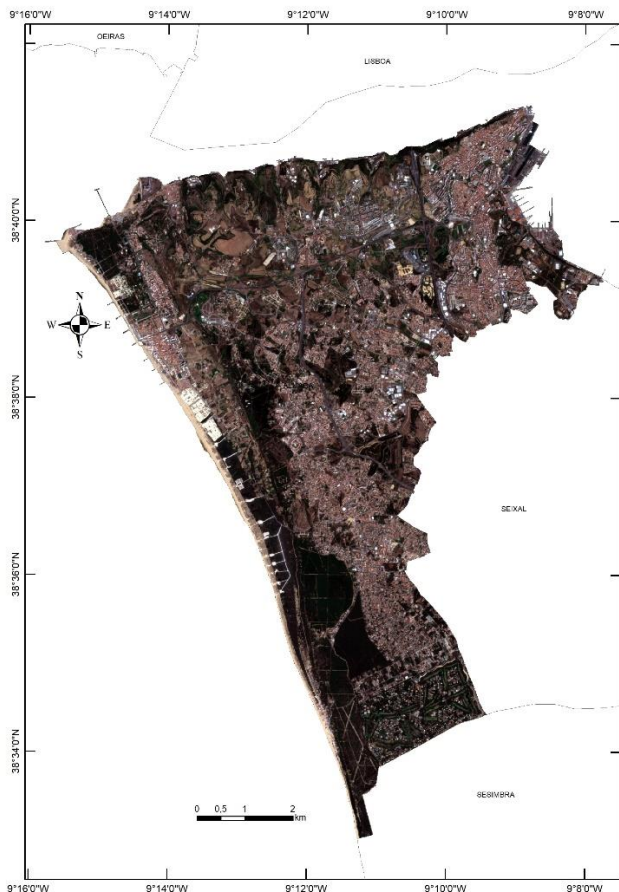
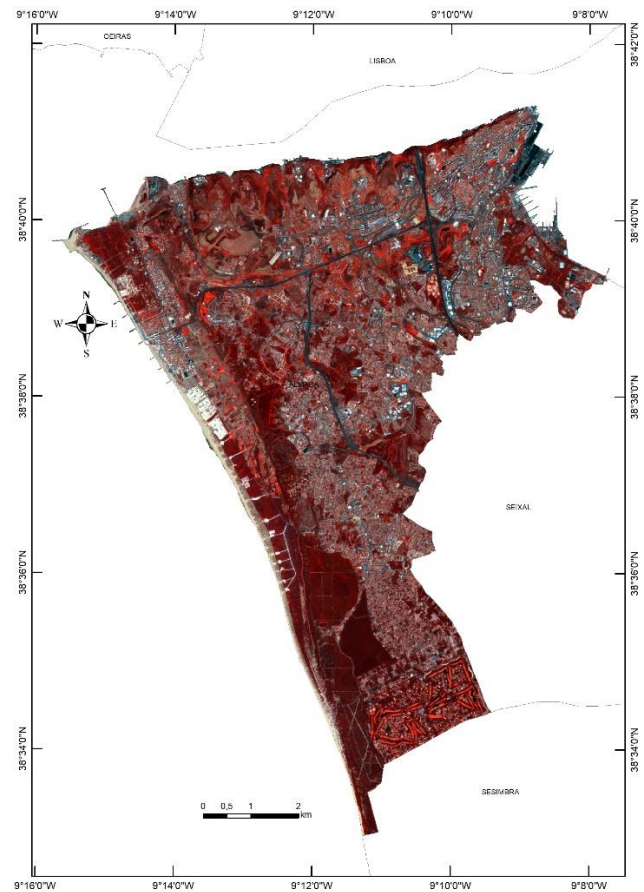


Figura 26: Composição Falsa Cor.



Após as composições coloridas e do corte das imagens ao limite administrativo efectuou-se as estatísticas das bandas em análise, cujos resultados encontram-se descritos nos quadros 17 a 20, referentes às estatísticas das bandas.

IV. 3.2.4. Estatísticas das Bandas Utilizadas

A análise das imagens de detecção remota “deve orientar-se para uma interpretação diacrónica e multibanda, embora existam muitos tratamentos informáticos

possíveis. A abordagem metodológica a este tratamento pode assumir dois aspectos, sinteticamente; abordagem analítica e abordagem estatística” (Casimiro, 2002:83).

Seguindo esta linha de raciocínio e, uma vez que a imagem corresponde a “uma matriz numérica, logo cada *pixel* é um vector numérico com tantas coordenadas quanto as bandas do sensor” (Casimiro, 2002:83), é de sublinhar que, após a correcção dos valores espectrais, procedeu-se a análise estatística para a totalidade das imagens, como se encontram descritos nos quadros 17 a 20.

Com a determinação da estatística das bandas, através da utilização do *software ENVI Feature Extraction*, foi possível determinar os valores máximos, mínimos, médias e desvio-padrão, que daqui em diante, passarão a representar os valores da resposta espectral da área em estudo, em cada período em análise.

Quadro 17: Estatística das Bandas de Janeiro.

Estatística das Bandas 18 de Janeiro 2017 Originais (Inverno)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	28000	28000	28000	27330	25431	28000	28000	28000
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	882.074781	575.751324	402.004528	389.270722	418.488537	421.679045	388.612430	399.723582
Des. Pad	458.433408	358.092926	356.252818	393.253069	548.474287	617.686307	624.714926	670.006195

Estatística das Bandas 18 de Janeiro 2017 Corrigidas (Inverno)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	17585	16639	16043	15879	15770	15684	15628	15553
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	314.160130	284.005562	230.233932	256.112566	305.638390	321.453785	316.466276	326.301483
Des. Pad	355.221748	377.911556	399.138489	451.541287	619.776954	675.933967	700.046549	717.474871

Quadro 18: Estatística das Bandas de Março.

Estatística das Bandas 19 de Março 2017 Originais (Inverno)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	21514	21457	25143	23287	24661	28000	25734	28000
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	1191.211272	951.514248	852.482743	851.743185	902.091538	933.325452	878.926423	934.188699

Des. Pad	988.852386	935.129211	1033.201788	1051.136130	1125.337080	1194.718206	1157.53015 3	1246.60394 9
----------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-----------------	-----------------

Estatística das Bandas 19 de Março 2017 Corrigidas (Inverno)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	19959	18495	17531	17076	16838	16677	16704	16408
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	916.801364	887.970068	844.679904	896.311550	928.643546	941.709620	961.681082	944.846095
Des. Pad	1532.684940	1437.971912	1422.173086	1452.948307	1453.055670	1462.365473	1501.187217	1466.626238

Quadro 19: Estatística das Bandas de Julho.

Estatística das Bandas 24 de Julho 2017 Originais (Verão)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	18310	17457	19759	14536	12970	18838	22567	23836
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	979.520957	711.019909	554.222631	545.620657	593.219252	621.151328	576.406366	626.816167
Des. Pad	336.703621	361.001553	457.908038	516.932226	698.107667	804.657067	798.772398	903.322875

Estatística das Bandas 24 de Julho 2017 Corrigidas (Verão)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	18167	17120	16416	16071	15507	15965	15735	15795
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	457.300187	451.434590	416.291520	470.144842	522.106923	549.191805	553.284598	572.476352
Des. Pad	360.720042	439.658166	535.132041	629.222103	797.728853	874.341265	918.289768	952.558271

Quadro 20: Estatística das Bandas de Outubro.

Estatística das Bandas 22 de Outubro 2017 Originais (Outono)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	27633	23538	27771	12583	26893	25048	28000	28000
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	949.518470	630.187571	433.403221	418.822138	440.848366	447.420482	414.724464	433.175861
Des. Pad	286.475568	291.985461	359.030982	409.435973	545.975484	619.701892	625.204062	688.695153

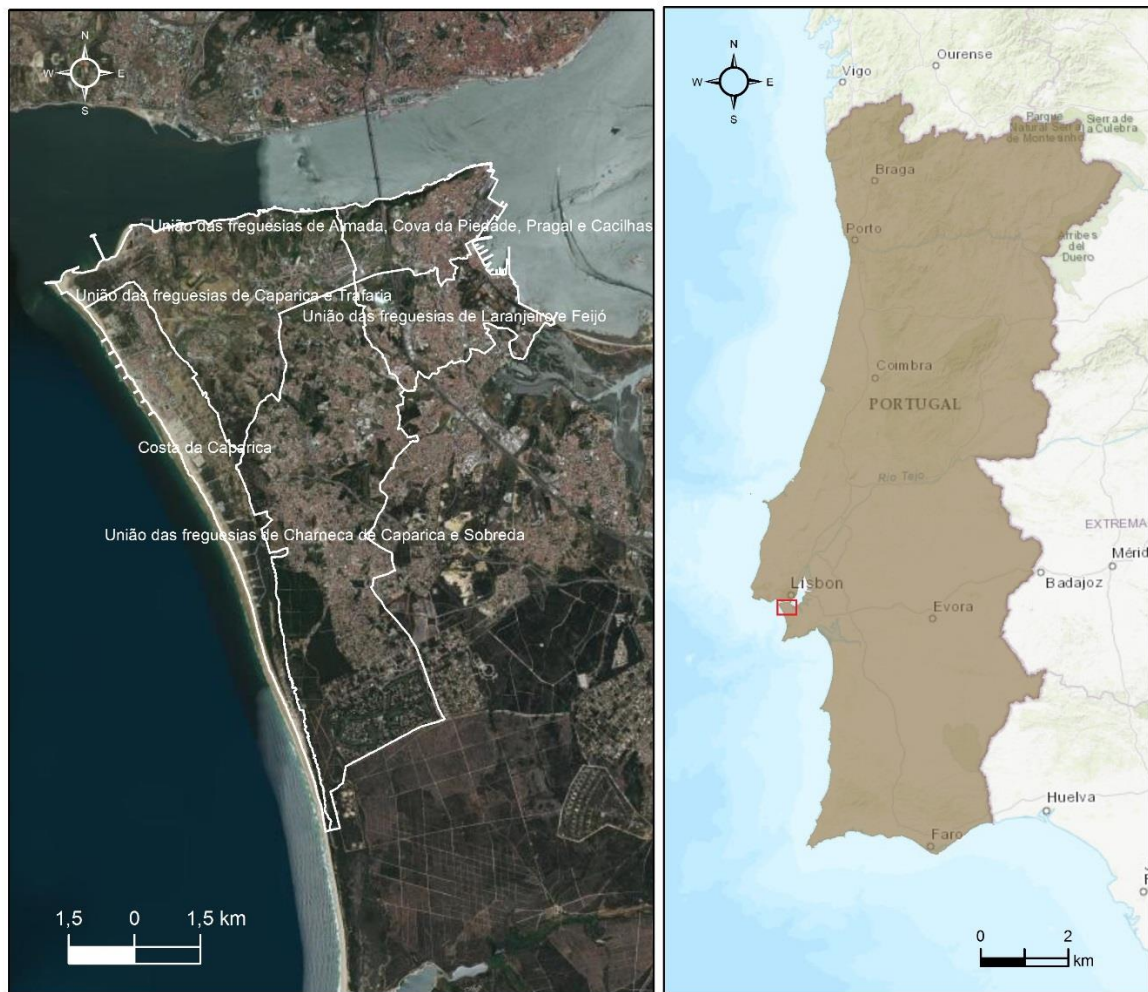
Estatística das Bandas 22 de Outubro 2017 Corrigidas (Outono)								
	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A
Máx	18581	17444	16673	16332	16276	16154	15999	15958
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Méd	268.877633	263.522559	216.725540	256.064304	299.506908	321.417976	317.242165	341.914136
Des. Pad	278.030739	363.834433	432.436323	508.365552	642.553786	697.758331	707.137082	751.195784

Como anteriormente referido, o pressuposto geral deste estudo consiste em utilizar a metodologia *GEOBIA* Para a classificação do solo por via da análise de imagens baseada em objecto, para tal, utilizou-se um conjunto de imagens *Sentinel-2*, disponíveis na plataforma *Earthexplorer* e de forma gratuita.

IV. 4. Área de Estudo

A área de estudo que serviu para teste da classificação multitemporal, corresponde ao Município de Almada (figura 27). Integrando cinco freguesias (união das freguesias), nomeadamente, união das freguesias de Almada, Cova da Piedade, Pragal e Cacilhas; União das freguesias de Charneca de Caparica e Sobreda; União de freguesia das freguesias de Caparica e Trafaria; Freguesia da Costa da Caparica e União das freguesias de Laranjeiro e Feijó.

Figura 27: Área de Estudo no contexto Nacional.



A escolha da área de estudo resultou de vários factores, nomeadamente, a existência de trabalhos já desenvolvidos sobre a área, nas temáticas de classificação do uso e ocupação do solo.

Uma outra razão que determinou a nossa escolha resultou essencialmente da diversidade de usos apresentados pelo município, nomeadamente, a riqueza no número de classes a extrair; elevada heterogeneidade das classes de uso e ocupação do solo e a existência e facilidade de acesso aos dados para a exploração da metodologia proposta, o que o torna num espaço de grande interesse para a análise de metodologias de extracção automática de informação através dos dados de Detecção Remota.

CAPÍTULO V - METODOLOGIA

V. 1. Delimitação dos Objectos

Nos capítulos acima, abordou-se teoricamente a noção de Detecção Remota, objecto e os limites geográficos (fronteiras *Bona Fide* e fronteiras *Fiat*).

De ponto de vista prático, e da delimitação de objectos com representatividade significativa, nos pontos que se apresentam de seguida, serão abordados a formação dos objectos através das técnicas de segmentação de imagens em Detecção Remota.

A atribuição de significados aos objectos constitui um processo complexo, no sentido, em que, é através dela que o Homem, por via da cognição, delimita os objectos, através da forma, num espaço multidimensional e de diferentes escalas de análise. A cognição humana, neste contexto, integra uma ferramenta imprescindível na atribuição dos significados e formas aos diferentes objectos presentes na superfície terrestre.

Com as novas técnicas de segmentação multiresolução e análise de imagem baseada em objectos, é possível, através de novos algoritmos de segmentação, uma proximidade a forma tal como a cognição humana delimita o objecto no espaço, através da sua forma e significado atribuído, com base num determinado critério de homogeneidade.

Uma das principais tarefas da segmentação de imagens, consiste fundamentalmente na delimitação dos objectos, através da fusão de *pixels* com as mesmas características espectrais, diferenciando-os dos grupos vizinhos. Porém, dada a elevada complexidade das imagens de satélite, as particularidades dos diferentes sensores e a heterogeneidade espectral características dos meios urbanos, muitas vezes, a diferenciação dos objectos presentes nas imagens e atribuição de significados e forma a um objecto da imagem, constitui tarefa bastante complexa, devido a mistura espectral, resultante das particularidades atrás enumeradas.

Contudo, com a segmentação multiresolução, essa complexidade é reduzida, isto porque, com este algoritmo, procura-se delimitar os limites dos objectos, com base nos critérios de homogeneidade (forma, compactidade, suavidade, cor), incorporados no *software eCognition*.

Aqui, importa sublinhar a ideia de que, para a construção dos objectos com características representativas do objecto na realidade geográfica, duas características importam estabelecer:

- i. Os objectivos do estudo e as classes/objectos que se pretende extrair;
- ii. A escala adequada a delimitação dos contornos relativos aos objectos/classes de interesse.

De facto, a definição dos objectivos e a adequação da escala de análise, permitem uma melhor e a mais rápida estruturação não apenas da nomenclatura, como também da estrutura hierárquica a construir, segundo as classes que se pretende obter.

A complexa tarefa de delimitação de um objecto numa imagem de satélite ou numa dada realidade geográfica constitui uma tarefa que segue uma regra de construção de objectos que considera os aspectos relacionados com a forma dos objectos a escala e o significado dos mesmos. A extracção de informação a partir de uma imagem de satélite é um processo iterativo, cuja construção de objectos é fortemente determinada pelo factor escala e limites.

Para este estudo, o *software* utilizado, permitiu através do processo de segmentação da imagem por algoritmo *multiresolution segmentation*, segmentar as imagens a diferentes escalas (níveis) de análise. Como anteriormente referido, as técnicas de segmentação consistem essencialmente na utilização de um conjunto de critérios e termos lógicos que permitem construir o objecto próximo da cognição humana.

Haralick (1985:209) descreve a segmentação como uma técnica em que, “as regiões devem ser uniformes e homogéneos em relação a algumas características, como o tom ou textura de cinza. Os interiores das regiões devem ser simples e sem muitos pequenos orifícios. Regiões adjacentes de uma segmentação devem ter valores significativamente diferentes em relação às características nas quais elas são uniformes. Os limites de cada segmento devem ser simples, não irregulares e precisam ter precisão espacial”.

De acordo com a ideia acima, fica subentendida a noção do parâmetro escala nos processos de segmentação de imagem. Na verdade, o parâmetro escala, permite, um melhor ajustamento na delimitação dos limites das fronteiras dos objectos, adequando-os aos objectivos pretendidos.

V. 1.1. Procedimentos/ Técnicas de Segmentação Multiresolução

Tendo por base os procedimentos geralmente referidos na literatura da especialidade para efeitos de segmentação multiresolução de imagem, Haralick (1985), apresenta cinco grandes grupos referentes às técnicas de segmentação de imagem), dos quais optámos por tomar em conta algumas das principais técnicas, designadamente :

i. *Measurement Space Clustering*, que consiste essencialmente no uso do processo de *Clustering*, para definir a partição no espaço de medida. Com esta técnica, cada *pixel* pertencerá a uma classe em específico, resultante da mesma partição do espaço medida. Uma das formas mais comuns dessa técnica, traduz-se através do algoritmo *ISODATA* e *clusters* por quebras no histograma. Um dos entraves desta técnica, além da perda da correspondência espacial com o domínio espacial da imagem, reside no designado efeito *salt and pepper* que resulta de um elevado número de *clusters*. Embora o efeito *salt and pepper* possa ser minimizada através da redução do número de *clusters*, facto que origina a perda de informação relativa a “construção” de segmentos;

ii. Construção de Regiões. Para esta técnica leva-se em consideração os critérios de homogeneidade, com especial destaque as técnicas de:

a) *Single Linkage Image Segmentation*, onde cada *pixel* é tido como um nó num grafo, sendo que *pixels* que apresentam características semelhantes são ligados por um arco;

b) *Hybrid Single Linkage*, embora se assemelha em parte com a técnica acima mencionada, a grande vantagem desta técnica reside no facto de o valor da propriedade de cada arco ser procurado numa vizinhança de $K \times K$ de cada *pixel*;

c) *Region Growing / Centroid Linkage*, com esta técnica toda a imagem é levada em consideração, de forma a comparar a média de um determinado *pixel* com a média de cada região, sendo que a distância entre ambas é calculada e o *pixel* é incluído na região mais próxima.

De seguida, a média da região é recalculada e se for verificado uma distância superior a um determinado limite, então, o *pixel* apresentará como valor inicial o valor da nova região.

iii. *Hybrid Linkage Combination Techniques* é, na verdade, a combinação das técnicas de *Single Linkage* e *Centroid Linkage*;

iv. *Spatial Clustering*. Esta técnica caracteriza-se na sua essência pela combinação de regiões no espaço de medida com o domínio espacial da imagem

v. *Split and Merge*. Com esta técnica toda a imagem corresponde a um segmento inicial. Seguidamente, cada segmento é partido em *quarters*, caso apresentem um reduzido grau de homogeneidade.

V. 1.2. Da parametrização à Segmentação Multiresolução

Para a segmentação de imagens, existem diversos procedimentos e normas a cumprir de forma a permitir não apenas uma melhor representatividade, como também uma melhor construção de objectos representativos do uso e ocupação do solo. Neste estudo, o *software* utilizado (*eCognition*), possibilita a construção dos objectos através de segmentação multiresolução por crescimento de regiões.

Na verdade, com esta técnica, toda a imagem é “transformada” em múltiplos objectos com diferentes dimensões. Com a segmentação multiresolução, os objectos construídos seguem uma lógica *Bottom-up*, isto é, começa por unir *pixels* com as mesmas características espectrais até alcançar objectos homogéneos, de grandes dimensões e representativos de uma dada classe de uso e ocupação do solo.

Aqui, entramos no domínio da escala de análise. O *software eCognition* tem incorporado o parâmetro escala direccionado para a segmentação de imagens multiresolução. Contudo, importa sublinhar que a determinação de uma escala de análise dependerá em larga medida dos objectivos do estudo e das classes de uso e ocupação do solo que se pretende extrair. Na verdade, este parâmetro permite determinar o tamanho dos objectos, com base nos diferentes ajustes efectuados. Neste sentido, Baatz e Schäpe

(2000) alegam que, “o tamanho dos objectos de imagens resultantes aumentará com o valor de menor grau de ajuste”.

De facto, a segmentação multiresolução permite uma enorme vantagem em termos de segmentação comparativamente a metodologia *pixel a pixel*, porém, existe um conjunto de regras ou componentes a ter em consideração. Neste contexto, Baatz e Schäpe (2000) apresentam duas componentes relacionadas com a segmentação multiresolução: Decisões heurísticas e delimitação do grau de homogeneidade.

V. 1.2.1. Componentes de Segmentação Multiresolução

Neste ponto, serão apresentadas as duas principais componentes da segmentação multiresolução, propostas pelos autores anteriormente referidos, a saber:

I. Decisões Heurísticas. Componente que tem como principal característica estabelecimento dos objectos que a cada fase serão fundidos em objectos de maior dimensão. Existem quatro hipóteses fundamentais de fusão de imagem.

- a) *Fitting*: com esta hipótese o objecto A é fundido com qualquer objecto vizinho B, com o qual é atingido o grau de homogeneidade;
- b) *Best Fitting*: no que respeita a esta hipótese, os autores alegam que, em relação a todos os objectos com os quais é possível uma fusão, os objectos A e B são fundidos, visto que, o critério de homogeneidade é melhor conseguido com estes dois objectos vizinhos.
- c) *Local mutual Best Fitting*: tem a particularidade de encontrar para A o objecto vizinho B, com o qual se conseguiu o melhor critério de homogeneidade. Posteriormente, encontra para B o seu objecto vizinho C com o qual se atinge o melhor grau de homogeneidade. Na verdade, esta hipótese utiliza um processo iterativo que permite determinar/encontrar o grau de homogeneidade entre objectos vizinhos. Se o processo apresentar um grau negativo em termos de homogeneidade, então, repete-se até que seja encontrado pares de

objectos na vizinhança de A, cujo grau de homogeneidade é atingido.

- d) *Global mutual Best Fitting*: esta hipótese em particular tem por objectivo, proporcionar a fusão dos objectos que melhor critério de homogeneidade tenham alcançado.

II. Delimitação do grau de homogeneidade. Esta componente define que, a vizinhança entre objectos que sejam vizinhos é determinada segundo um determinado *Feature space*. Com esta componente, o *degree of fitting* (h) é delimitado segundo n -dimensionalidades de *feature space* (f), por:

$$h = \sqrt{\sum_d (f_{1d} - f_{2d})^2} \quad \text{Eq: 3}$$

Para minimizar a heterogeneidade espectral resultante do incremento do número de objectos na imagem, o *software eCognition*, recorre a um critério que procura reduzir o valor do h (*degree of fitting*), de forma a garantir que o peso da heterogeneidade média dos objectos seja reduzida, como é descrito através da fórmula abaixo.

$$h = \sum_c w_c * \sigma_c \quad \text{Eq: 4}$$

Onde:

σ_c - Representa o desvio padrão para os valores espectrais de cada banda

W_c - Representa o peso de cada banda

Com esta fórmula, o desvio padrão representa essencialmente a medida que permite avaliar a heterogeneidade dos valores espectrais dos objectos em relação ao peso dos mesmos. Aqui, importa sublinhar que, a atribuição dos pesos das bandas, está intimamente relacionado com o objectivo dos estudos. Assim, neste estudo, atribuiu-se um maior peso as bandas do vermelho e infravermelho, visto que, numa primeira fase

pretendia-se extrair a classe vegetação que apresenta uma resposta espectral muito elevada nessas bandas.

Relativamente às distâncias entre objectos vizinhos descritas através da equação 3, de salientar que, podem ainda ser estandardizadas por desvio *standard* em torno de todos os segmentos em cada dimensão:

$$h = \sqrt{\sum_d \left(\frac{f_{1d} - f_{2d}}{\sigma_{fd}} \right)^2} \quad \text{Eq: 5}$$

No processo de extracção de informação e ou das formas dos objectos presentes a superfície terrestre, nem sempre representam uma forma compacta, de modo que, é necessário recorrer a critérios de heterogeneidade espectral.

O *software eCognition*, inicia o processo de segmentação multiresolução com um *pixel* tomado como um objecto, cujas características são avaliadas com os objectos vizinhos. Ao longo desta fase, é avaliada a heterogeneidade antes e depois da fusão (*merge*) entre os *pixels*, de forma a conseguir uma menor diferença, isto é, maior homogeneidade entre estes. Este processo é traduzido através da equação seguinte (Eq.6):

$$hdiff = hm - \frac{(h1 \cdot n1 + h2)}{n2 + n1} \quad \text{Eq: 6}$$

Onde:

$h1$ e $h2$ representam a heterogeneidade e $n1$ e $n2$ dizem respeito a dimensionalidade dos objectos 1 e 2, por sua vez, hm representa a heterogeneidade dos objectos após o processo de fusão.

A forma dos objectos resultantes da fusão, nem sempre cumpre uma forma compacta e suavizada, daí a necessidade de integrar os critérios de heterogeneidade espacial, com o objectivo de corrigir a forma dos objectos.

Neste sentido, determina-se o cálculo do rácio entre o perímetro do objecto e o número de *pixels* que o abrange com a finalidade de obter objectos mais compactos.

$$h = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq: 7}$$

Onde:

l – Representa o perímetro do objecto:

n – Representa o número de *pixels*.

Para suavizar as fronteiras dos objectos, o critério utilizado na descrição da homogeneidade da forma, corresponde ao desvio do menor comprimento de borda possível.

$$h = \frac{l}{b} \quad \text{Eq: 8}$$

Onde:

l – Corresponde ao perímetro do objecto;

b – Corresponde ao perímetro mínimo possível.

Aqui, importa sublinhar que, num ficheiro *Raster* o perímetro mínimo possível (b) é também o perímetro da *bounding box*. De uma forma geral, a determinação dos dois critérios acima referidos tem por objectivo geral, otimizar a forma do objecto. Por sua vez, a optimização do objecto com base nesses critérios, acaba por dar lugar ao critério geral da forma dos objectos.

Assim, com o intuito de otimizar a forma dos objectos relativamente às suas características espaciais e espectrais, o critério utilizado, integra o conceito de heterogeneidade espacial (h_{shape}) e heterogeneidade espectral (h_{color}). A decomposição dos dois conceitos é descrita nas equações 9 a 13. Assim, para a heterogeneidade espectral (h_{color}) tem-se:

$$h_{color} = \sum_c w_c \left(n_{merge} \cdot \sigma_c^{merge} - (n_{obj1} \cdot \sigma_c^{obj1} + n_{obj2} \cdot \sigma_c^{obj2}) \right) \quad \text{Eq: 9}$$

Onde:

w_c – Representa o peso de cada banda;

n – Representa a dimensão do objecto.

Por seu turno, o critério de heterogeneidade espacial (h_{shape}), que engloba os critérios de compactidade (h_{cmpct}) e suavidade (h_{smooth}) é matematicamente descrita pela seguinte equação:

$$h_{shape} = w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth} \quad \text{Eq: 10}$$

Os critérios de compactidade (h_{cmpct}) e suavidade (h_{smooth}), por sua vez desagregados, podem ser descritos matematicamente por:

$$hcmpct = nmerge * \frac{lmerge}{\sqrt{nmerge}} - \left(nobj1 \frac{lobj1}{\sqrt{nobj1}} + nobj1 * \frac{lobj2}{\sqrt{nobj2}} \right) \quad \text{Eq: 11}$$

Onde:

n - Representa a dimensão do objecto;

l – Representa o perímetro do objecto.

Por seu turno, a suavidade (h_{smooth}) de um dado objecto, é descrita, respectivamente por:

$$hsmooth = nmerge * \frac{1merge}{bmerge} - \left(nobj1 * \frac{lobj1}{bobj1} + nobj1 * \frac{lobj2}{bobj2} \right) \quad \text{Eq: 12}$$

Onde:

n – Representa a dimensão do objecto;

l – Perímetro do objecto;

b – Representa o perímetro mínimo possível da *bounding box*.

Após a breve desagregação dos critérios que integram o conceito de optimização da forma dos objectos, importa referir que, a integração/fusão dos objectos com base nos dois conceitos acima referidos cor (h_{color}) e forma (h_{shape}), pode ser matematicamente representada por:

Onde:

w – Corresponde ao peso atribuído da cor relativamente à forma, dentro do intervalo 0 – 1.

$$f = w * h_{color} + (1 - w) * h_{shape}$$

Eq: 13

Outro factor de grande importância no que respeita a optimização da forma dos objectos relaciona-se com o factor escala. Na verdade, a escala tem uma importância considerável, dado que, na construção do objecto, a dimensão do mesmo é determinada pelo parâmetro escala. De uma forma geral, no processo de construção do objecto, é efectuada um cálculo entre a raiz quadrada do factor escala e o valor global da fusão do objecto (f).

Por esta razão, quanto menor for o valor de escala, maior é o número de objectos, o que se traduz em objectos de menor dimensão. Por outro lado, quanto maior for o valor da escala, mais reduzido será o número de objectos, porém, de maior dimensão. De acordo com Trimble (2014,30), o parâmetro escala tem como principal função a “definição da diferença máxima de cor dentro de cada camada de imagem seleccionada dentro de objectos de imagem quadrados. É usada apenas em conjunto com o modo cor”.

Na verdade, nos processos de segmentação e construção dos objectos, o parâmetro escala, determina o limite a partir do qual é admitida a modificação de heterogeneidade. Partindo deste facto, importa sublinhar que, a escolha do parâmetro escala, depende essencialmente do objectivo do estudo e da informação que se pretende extrair.

Uma das grandes vantagens do *software eCognition* em matéria de segmentação de imagens, é a capacidade deste em apresentar uma estrutura hierárquica em que a informação sobre uma determinada classe é e pode ser apresentada em diferentes resoluções em simultâneo, o que permite adaptar os segmentos às classes que se pretende extrair. Geralmente, permite criar diferentes níveis de informação espacial.

Partindo deste facto, é de sublinhar que, para o primeiro nível (Nível 1) da segmentação multiresolução foi aplicado o parâmetro de escala mais baixo, logo, maior número de segmentos. Por esta razão, com o nível mais baixo do parâmetro escala, os objectos obtidos apresentam uma maior proximidade ao *pixel* em relação aos restantes níveis.

Com base nos diferentes testes realizados, importa sublinhar que, o parâmetro escala constitui um factor importantíssimo no que concerne a generalização involuntária

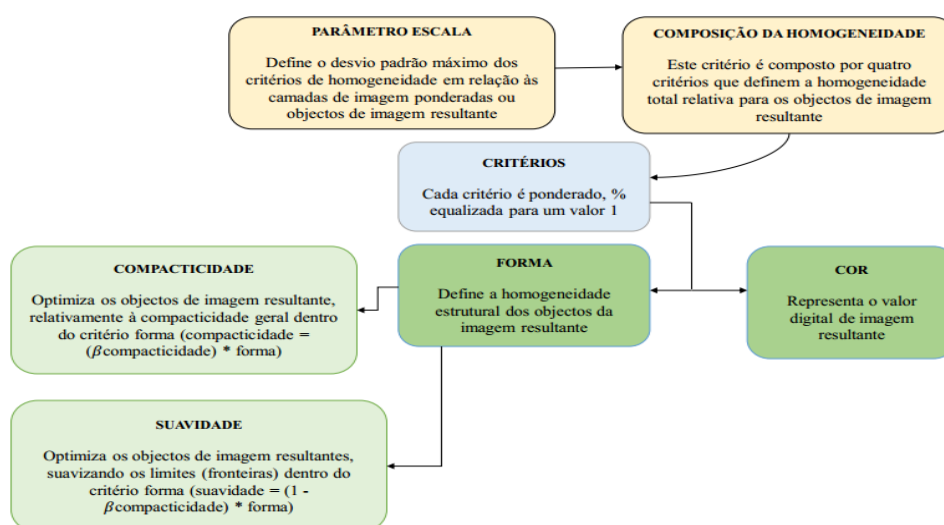
dos segmentos da imagem, dado que, com este parâmetro é possível através da manutenção de todos os outros parâmetros, atingir diferentes tamanhos, formas e significados de informações (entenda-se objectos) à superfície terrestre.

Por esta razão, e partindo das ideias acima apresentadas, torna-se necessário reforçar a ideia de que a escolha da escala de análise, deve estar intimamente ligada ao objectivo do trabalho e aos objectos que se pretende extrair da imagem.

No processo de segmentação multiresolução, e como anteriormente referido, o *software* utiliza um conjunto de critérios que, devidamente aplicados, permitem a obtenção de diferentes tipos de informações acerca de uma determinada classe de uso e ocupação do solo.

A figura 28 apresenta os principais critérios levados em consideração nos processos de segmentação multiresolução, a partir do *software eCognition*.

Figura 28: Critérios de Segmentação Multiresolução.



Adaptada de Trimble 2012:39.

Assim, por forma a otimizar a construção dos objectos, são aplicados um conjunto de critérios, apesar de apresentarem pesos diferentes, complementam-se entre si.

Partindo da figura 28, e de forma a compreender o papel e a importância de cada critério, entendemos imprescindível efectuar uma breve descrição dos mesmos. Assim, tem-se que:

O parâmetro Escala (*scale parameter*) condiciona a heterogeneidade máxima admitida para a obtenção de objectos desejados. Tal como anteriormente referido, uma pequena variação deste parâmetro, permite a elaboração de diferentes níveis de segmentação de informação, com implicações directa no tamanho/dimensão dos objectos resultantes.

Na verdade, permite uma segmentação multiresolução que facilita a delimitação da mais pequena característica que permite distinguir um objecto dos restantes a sua volta (vizinhos).

Por sua vez, os critérios de Forma (*shape*) e Cor (*color*), encontram-se fortemente ligados, de modo que, a alteração do peso do critério Forma, altera-se simultaneamente o critério Cor. “Com efeito, ao diminuir o valor atribuído ao critério Forma, estar-se-á a definir a percentagem dos valores espectrais da imagem que contribuirão para o critério de homogeneidade.

Relativamente aos critérios de Compactidade (*compactness*) e Suavidade (*smoothness*), é de sublinhar que estes são utilizados para a optimização de objectos na imagem. Assim, o critério de compactidade é usado para, criar objectos de imagem de uma forma mais compacta. Por outro lado, a suavidade tem por finalidade, proporcionar fronteiras mais suaves entre os objectos.

De facto, a segmentação multiresolução consiste na integração dos critérios acima mencionados de forma a criar diferentes regiões (objectos) numa dada imagem, “cuja representação no espaço pode ter um significado definido para os usuários, seja como uma entidade própria ou como parte de uma estrutura maior” (Castellano, 2003:45).

V. 1.2.2. Aplicação da Segmentação Multiresolução

Para a aplicação/experimentação do algoritmo de segmentação multiresolução, testou-se diferentes níveis de segmentação de forma a obter uma melhor representatividade dos objectos presentes na imagem em estudo.

Assim sendo, foram utilizados os mesmos parâmetros (entenda-se as mesmas funções) para as diferentes datas em análise, indo assim ao encontro dos objectivos previamente estabelecidos para este estudo, que se centra essencialmente na segmentação

e classificação de dados multitemporais intra-anuais, mantendo para o efeito as mesmas condições (parâmetros).

A aplicação de diferentes níveis de segmentação foi um processo que teve como finalidade, a determinação dos objectos em diferentes níveis de detalhe e compreensão espacial.

Posto isto, partiu-se então para a segmentação multiresolução, processo anterior à classificação dos dados. De sublinhar que o processo se iniciou através da modificação dos nomes das bandas a utilizar na construção dos objectos de forma a auxiliar a identificação das mesmas nos processos seguintes.

Assim, utilizaram-se as bandas com a resolução espacial de 10 m (B2, B3, B4 e B8), dado que, são suficientes para as classes de uso e ocupação do solo que se pretende extrair.

Como anteriormente mencionado para alcançar os níveis de segmentação que levariam a classificação final, testou-se diferentes níveis de segmentação, sob imagens *Sentinel-2*. Assim, no quadro 21 apresentam-se os resultados para os quatro níveis.

Quadro 21: Parâmetros de Segmentação em 4 níveis de detalhe.

Parâmetros de Segmentação aplicado aos diferentes dados				
Modos de segmentação	Normal	Normal	Normal	Normal
Níveis de segmentação	1	2	3	4
Parâmetro de escala	20	50	75	109
Forma	0,3	0,4	0,9	0,9
Compactidade	0,6	0,8	0,5	0,8
Cor	0,7	0,6	0,1	0,1
Suavidade	0,4	0,2	0,5	0,2
Máxima diferença espectral	50	40	30	20

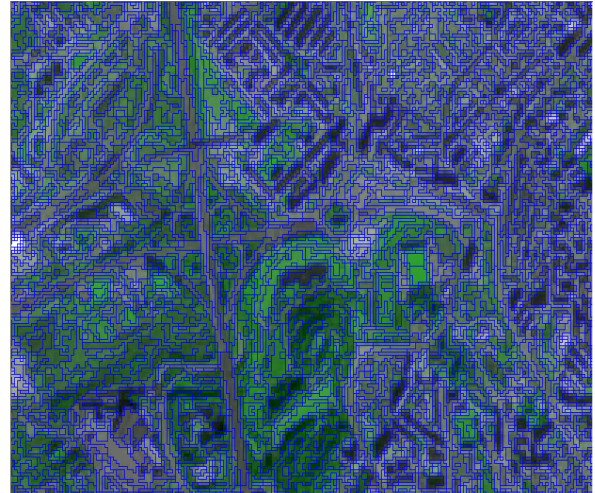
Uma vez que, as respostas dos objectos de níveis inferiores se encontravam próximos do *pixel*, atribuiu-se um maior peso do critério cor e não tanto da forma, sendo neste caso mais interessante trabalhar ao nível da resposta espectral em detrimento da forma (*shape*) dos objectos. Por esta razão, nas segmentações do nível inferior, optou-se por atribuir um maior peso ao critério cor relativamente ao critério forma.

Na verdade, esta opção deveu-se essencialmente à dimensão dos segmentos que resultaram dos parâmetros de escala aplicados para esses níveis de segmentação. Na figura 29, encontram-se representados os resultados dos diferentes níveis de segmentação efectuados numa primeira fase de testes.

Figura 29: Diferentes Níveis de Segmentação.



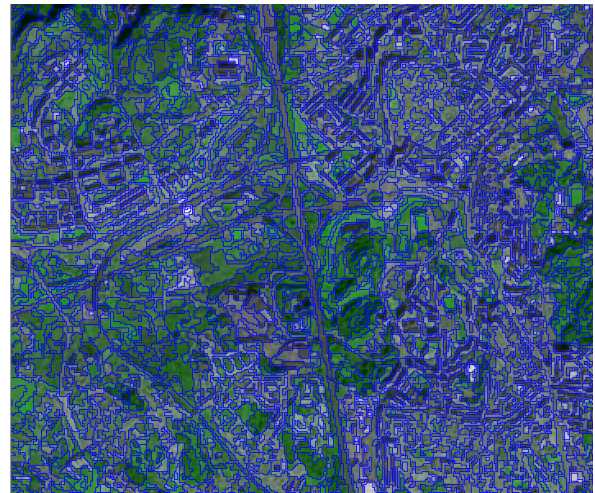
a) Imagem Original



b) Nível 1 Segmentos dos objectos da Imagem



c) Imagem Original



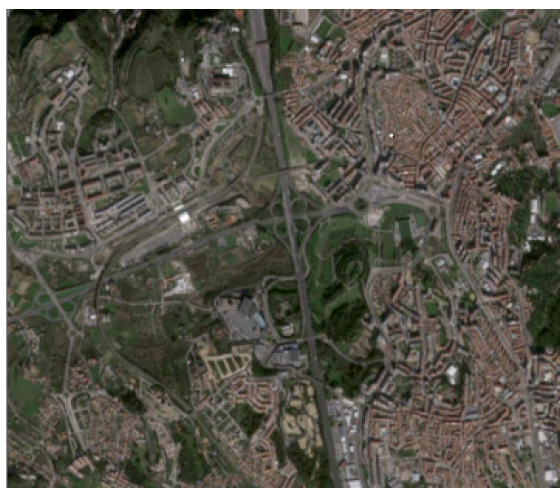
d) Nível 2 Segmentos dos objectos da Imagem



e) Imagem Original



f) Nível 3 Segmentos dos objectos da Imagem



g) Imagem Original



h) Nível 4 Segmentos dos objectos da Imagem

Numa segunda fase reduziu-se a segmentação de 4 para 2 níveis. Desta forma, a tabela resultante apresenta as características cujas combinações, pareceu-nos a que melhor responde aos objectivos deste estudo.

V. 1.2.3. Redução dos Níveis de Segmentação

Como atrás referido, efectuou-se a redução dos níveis de segmentação, tendo desta forma reduzido os níveis de 4 para 2, dado que, apresentaram resultados satisfatórios em termos de determinação de limites/fronteiras entre os diferentes objectos representados nas imagens.

De facto, efectuou-se o melhoramento das segmentações, com o intuito de compreender as informações que podem ser extraídas e também, quais os parâmetros que melhores resultados apresentam em termos das classes a extrair dos dados.

Aqui, importa sublinhar que, a segmentação multiresolução é um processo iterativo, com capacidades de produzir e alterar o conhecimento que se vai extraindo da imagem, ora não só através do conhecimento prévio do utilizador à área de estudo, como também nas respostas que podem ser adquiridas por via dos objectos que vão sendo produzidos através da aplicação de diferentes combinações de “níveis” de parâmetros.

Assim sendo, o quadro 22 apresenta os níveis de segmentação que melhores resultados apresentaram, assim, e por esta razão, servirão de base para a classificação, tendo desta forma eliminado os restantes níveis (como é o caso dos níveis 1 e 3), uma vez que não eram relevantes para os objectivos pretendidos.

Quadro 22: Parâmetros de Segmentação em 2 níveis de detalhes.

Parâmetros de Segmentação aplicados a dois níveis de segmentação		
Modos de segmentação	Normal	Normal
Níveis de segmentação	1	2
Parâmetro de escala	50	109
Forma	0,4	0,9
Compactidade	0,8	0,8
Cor	0,6	0,1
Suavidade	0,2	0,2
Máxima diferença espectral	40	20

De uma forma geral, para a classificação do uso e ocupação do solo, utilizaram-se dois níveis de segmentação que “discriminam” melhor as classes que se pretende extrair, exercendo um maior impacto na discriminação das classes de uso e ocupação do solo (figura 30).

Figura 30: Níveis de Segmentação utilizados para a classificação do uso e ocupação do solo.



a) Imagem Original



b) Nível 1 Segmentos dos objectos da Imagem



c) Imagem Original



d) Nível 2 Segmentos dos objectos da Imagem

A segmentação de imagens é um processo de grande importância para a determinação dos limites dos diferentes objectos contidos numa determinada imagem de satélite. Existem vários métodos e procedimentos de segmentação espacial de imagens de satélite. Robin, (2002:318) apresenta quatro grandes grupos de segmentação, nomeadamente:

1) Segmentação de base textural e classificação de segmentos:

Com esta técnica, numa primeira fase é efectuada a segmentação da imagem, tendo especial atenção as suas características texturais, sendo que de seguida procede-se a classificação dos segmentos de acordo com os critérios espectrais;

2) Classificação sobre planos espectrais e texturais:

Com este grupo, a classificação processa-se simultaneamente sobre um ou mais planos espectrais e um ou mais planos texturais. Com esta técnica, realiza-se uma classificação semi-supervisionada, onde são utilizados também filtros morfológicos e espaciais de forma a minimizar a confusão ao nível da classificação em ambiente urbano.

3) Classificação *pixel a pixel*:

Esta técnica resume-se, sobretudo, numa abordagem em que a unidade mínima de análise é centrada no *pixel*, sendo que o resultado da classificação resulta essencialmente da comparação dos valores digitais dos *pixels* da imagem a classificar.

4) Abordagem Heurísticas

Têm como principal característica estabelecimento dos objectos que a cada fase serão fundidos em objectos de maior dimensão. Existem quatro hipóteses fundamentais de fusão de imagem (cf. página 157). Aqui, importa sublinhar que, de todas as possibilidades atrás referidas, utilizamos as abordagens heurísticas, por nos parecer a mais ajustada para os objectivos da Tese.

Posteriormente a determinação dos níveis de segmentação ideais para a extracção das classes de uso e ocupação do solo, procedeu-se a classificação dos mesmos em ambiente *eCognition*.

V. 1.3. Classificação dos Objectos em *eCognition*

Como anteriormente mencionado nos pontos acima, a construção de objectos do uso e ocupação do solo, decorreu com recurso ao *software eCognition*. Na verdade, em ambiente *eCognition*, a construção dos objectos é alcançada através de um sistema de classificação hierárquica multidimensional, onde é possível estabelecer três tipos de relações:

- i. Inheritance* – com esta relação, assiste-se a uma passagem das características das “classes mães” para as respectivas “classes filhas”. Com esta relação, procede-se a descrição de cada classe, por via de integração do super objecto com os seus respectivos sub-objectos, facto que permite melhorar/simplificar a determinação dos objectos, dado que, com esta

relação, numa primeira fase, classifica-se a classe construído, o que na verdade, representa a classe mãe e posteriormente as classes filhas, ou seja, as classes que se enquadram dentro da classe construído (tecido urbano contínuo, descontínuo, indústria, etc.), que por outras palavras, estão dependentes da classe construído, estando assim ligados por uma relação hierárquica de similaridade.

A delimitação das classes através desta relação carece da combinação de um conjunto de expressões que auxiliem a elaboração de uma expressão/gramática de construção de objectos, como é exemplo disso, as regras de decisão *fuzzy* com operadores da lógica *fuzzy*. O *software eCognition* utiliza um conjunto de operadores que auxiliam a classificação de um dado objecto, como é disso exemplo:

and (min) – onde: $A \cap B = (\mu_A; \mu_B)$

and (*) – em que: o produto do valor de pertença é igual ao valor de pertença a classe

or (max) – onde: $A \cup B = (\mu_A; \mu_B)$

mean (arithm.) – onde: o valor de pertença à uma determinada classe é igual a média aritmética dos valores






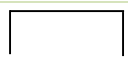


mean (geo) – em que: o valor de pertença à classe é igual média geométrica das classes

Aqui, importa referir que na presença de várias regras de decisão, os operadores acima referidos, também podem ser combinados, embora, da combinação dos mesmos, resulte um aumento da complexidade da classificação, facto que determinará o valor final da classificação, com base no/s tipo/s operador/s utilizado/s.

Segundo Encarnação (2004:102), “na escolha dos atributos a incluir nas regras de decisão, isto é, as *features* que as descrevem, tem de ser tido em conta o comportamento do *objecto* no que respeita à sua adequação a determinado atributo; adequação essa definida num intervalo de valores entre 0 e 1 (classificação *fuzzy*) ”.

O *eCognition* apresenta um conjunto de funções que determinam o intervalo de pertença de uma classe. Assim, a conduta dos objectos perante um determinado atributo, resulta da função utilizada (quadro 23).

Quadro 23: Diferentes tipos de funções de pertença.

Funções	
	Larger than (Boolean)
	Smaller than (Boolean)
	Singleton (exact one number)
	Larger than
	Smaller than
	Full range
	About range
	Approximate Gaussian

Com base nas funções atrás representados, sublinha-se que em *eCognition* o processo da construção de objectos resulta da complementaridade entre a função, o operador e outras dimensões que caracterizam o objecto. Sendo que, tais dimensões são alcançadas através de um conjunto *features* (cf. anexo 1).

ii. *Groups* – com este tipo de relação a classificação é organizada numa lógica de grupos semânticos. Assim, posteriormente a aplicação da relação *Inheritance*, e, de forma que a classificação se aproxime da nomenclatura definida, é possível reorganizar a classificação de forma a trabalhar já com o significado das classes e não com as descrições das mesmas.

iii. *Structures* – a terceira e última relação, resulta das estruturas semânticas das classes. Apesar de apresentar como principal objectivo, o melhoramento das segmentações por via de readaptação dos limites das classes como é exemplo, procurando desta forma aumentar a heterogeneidade contextual (entenda-se com os objectos vizinhos) e minimizar a heterogeneidade interna, aumentando deste modo o significado semântico de uma dada mancha, ou objecto num dado espaço geográfico. Na verdade, esta relação remete-nos para o significado dos objectos.

V. 1.4. Classificação dos Objectos da Imagem

Os avanços científicos registados no domínio da classificação de imagens baseada no objecto desde o início do século confirmaram esta técnica como, uma das mais promissoras no que respeita a extracção de informação de uso e ocupação do solo e representação de informação a diferentes níveis de análise comparativamente a classificação *pixel a pixel*.

Posto isto, nesta fase de interpretação e extracção de informação a partir das imagens *Sentinel-2*, a primeira tarefa realizada, consistiu, sobretudo, na definição das classes a extrair, tendo-se baseado principalmente, nas características e funções existentes na área em estudo.

Aqui, importa referir que as classes foram definidas por via de interpretação visual. Nesta fase, ficou ainda estabelecido que o nível 2 representará a ocupação do solo e o nível 1 o uso de solo. Os objectivos por detrás da nomenclatura adoptada centraram-se essencialmente na exploração do método *GEOBIA* em dados multitemporais intra- anuais.

A classificação iniciou-se com a determinação de classes do nível 2 (construído e não construído), visto que representam a ocupação do solo, enquanto as restantes classes do nível 1, correspondem a sub-classes dos níveis anteriores. De uma forma geral, a classificação foi iniciada sob o nível com menor detalhe, facto que se explica apenas com a necessidade em ter uma ideia global da distribuição das classes de uso e ocupação do solo.

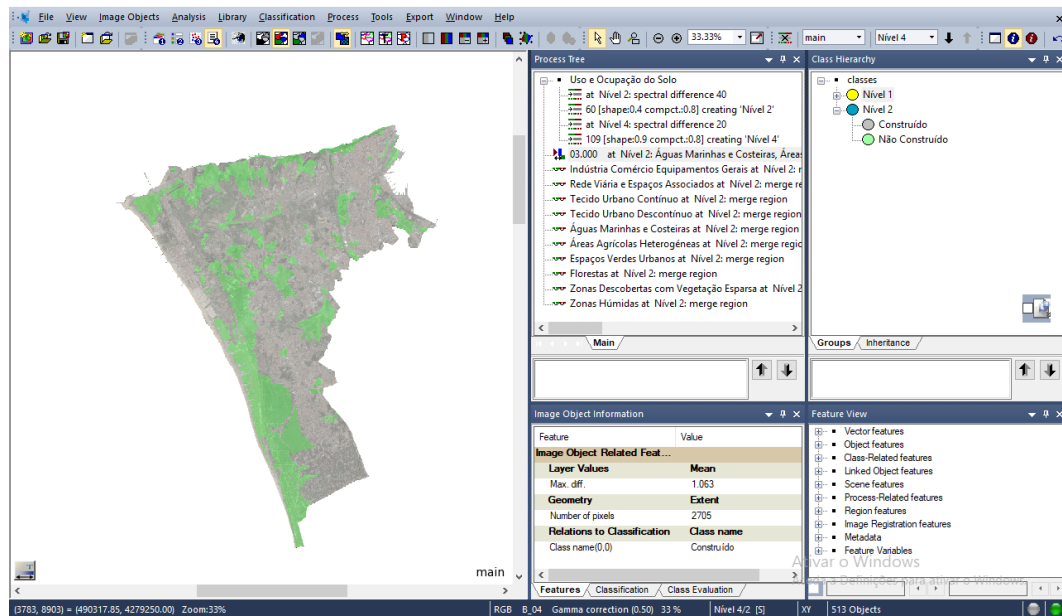
Neste sentido, a classificação foi iniciada com o nível de maior generalização, resultante do uso de um parâmetro de escala menos próximo do nível do *pixel*, permitindo assim obter de forma simples as duas classes que se pretendia (construído e não construído) e que servirão de base para a classificação das classes de nível inferior.

V. 1.4.1. Classificação Nível 2

Como referido atrás, a classificação das imagens, foi iniciada a partir do nível 2, que na verdade, correspondente ao nível de maior generalização, resultante da aplicação de um parâmetro de escala mais elevado comparativamente ao nível 1. Nesta fase, foi possível determinar duas classes de ocupação do solo. Assim, no que toca aos períodos

em análise, numa primeira fase as classes do nível 2 apresentam as respectivas caracterizações (figura 31).



Figura 31: Legenda da Classificação do Nível 2.





Como ficou exposto nos pontos anteriores, numa primeira fase da classificação, procurou-se extrair duas classes que fossem representativos da ocupação do solo na área em estudo. Dessa extracção resultaram duas classes, construído (que engloba todas as outras classes de uso, nomeadamente, indústria, tecido urbano contínuo e descontínuo, rede viária, etc.) e não construído (floresta, águas marinhas e costeiras, zonas húmidas, etc.).

Posto isto, aqui, importa sublinhar que o comportamento de um dado objecto é, resultado da função que estabelece o respectivo intervalo de pertença. Assim, para a determinação das classes (construído e não construído) levou-se em consideração algumas semelhanças as funções rígidas (*crisp*), resultando deste modo, valores de pertença *fuzzy*, cujo comportamento se assemelha a valores *crisp*. Os quadros 24 a 27, descrevem as funções e os intervalos utilizados.



Quadro 24: Descrição dos limites das classes do nível 2. Janeiro.

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Construído	[0.1 – 2.137]	and (min)	Max.diff	
Nível 2	Não construído	[2,273 – 3.7]	and (min)	Max.diff	



Quadro 25: Descrição dos limites das classes do nível 2. Março.

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Construído	[0.1 - 2.137]	and (min)	Max.diff	
Nível 2	Não construído	[1.578 - 3.9]	and (min)	Max.diff	

Quadro 26: Descrição dos limites das classes do nível 2. Julho.

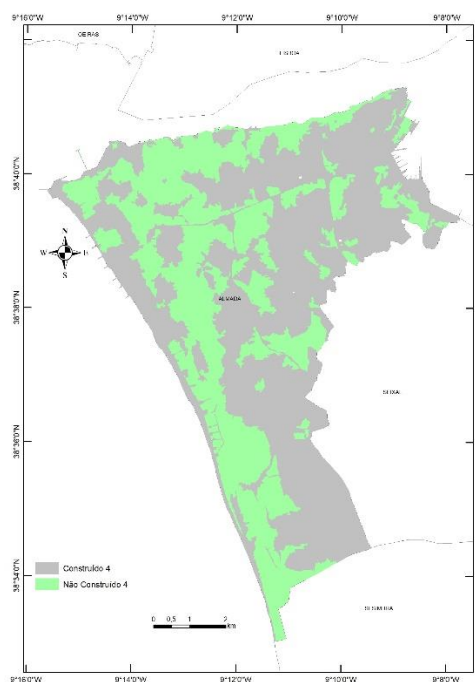
Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Construído	[0.1 – 2.137]	and (min)	Max.diff	
Nível 2	Não construído	[0.324 – 4.5]	and (min)	Max.diff	

Quadro 27: Descrição dos limites das classes do nível 2. Outubro.

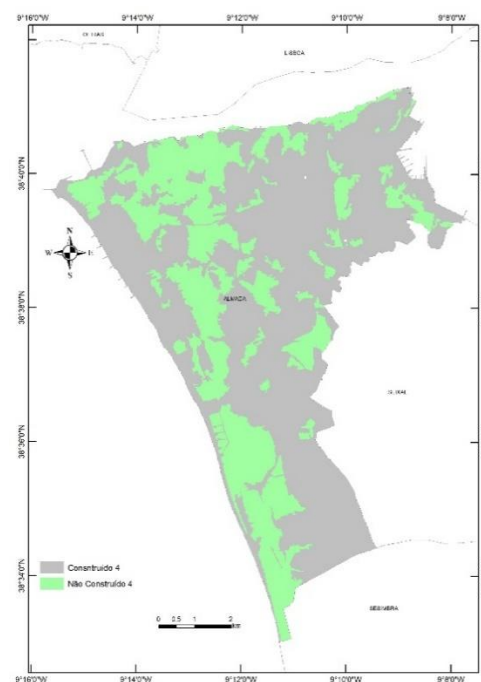
Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Construído	[0.1 – 2.137]	and (min)	Max.diff	
Nível 2	Não construído	[0.27 – 4.3]	and (min)	Max.diff	

Em termos operacionais, é de referir que, relativamente a classe designada por construído, foi aplicado a função *full range* e mesmo intervalo de valores para as diferentes datas. No que respeita a classe não construído, aplicou-se a função *Smaller than*, com diferentes intervalos, o que nos permitiu obter resultados satisfatórios em relação a espacialização das duas classes de elevada generalização relativamente a nível 1. Na figura 32, encontram-se representados os resultados do nível 2 para as diferentes datas em estudo, tendo-se verificado uma ligeira diferença na espacialização das duas classes.

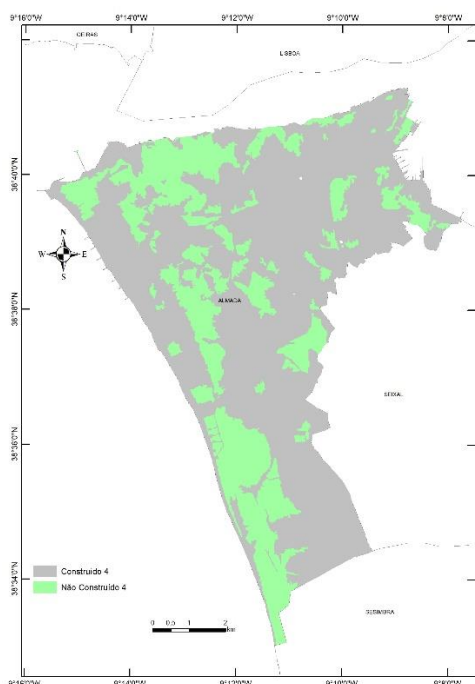
Figura 32: Resultados da Classificação do Nível 2 para os períodos em estudo.



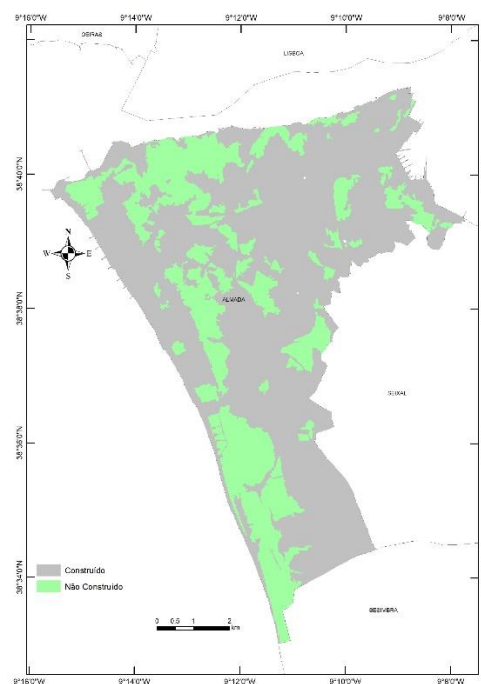
a) Janeiro



b) Março



d) Julho



d) Outubro

V. 1.4.2. Análise da Matriz de Confusão

Na sequência do exposto no capítulo introdutório deste estudo, o objectivo principal consiste essencialmente na aplicação de um sistema de classificação dotado do mesmo protocolo para as imagens *Sentinel-2*, para uma classificação multitemporal intra-anual. Com base nos resultados acima apresentados, é de referir que a classificação do nível 2 como anteriormente referido, foi essencial para uma melhor compreensão da espacialização das “parcelas” ocupadas por “construções e não construções”.

Numa primeira análise, os resultados apresentam uma elevada consistência, embora, se verifique uma ligeira diferença ao longo dos meses, com maior expressão nos meses de Julho e Outubro. Tais diferenças podem ser em parte explicadas com as diferenças nas condições de iluminação, o que por sua vez afecta as respostas espectrais das classes a extrair.

Cientes desses problemas, procedeu-se a elaboração da matriz de confusão para as classificações efectuadas de forma a ter uma melhor interpretação do rigor da classificação.

Na verdade, a “mecânica” da matriz de confusão corresponde ao seguinte: nas linhas, estão representados o número de *pixels* (ou percentagens) que pertencem às áreas teste que o classificador associou a cada classe. As relações existentes entre a posição de cada classe individualmente com o total das colunas representam a pureza das áreas que serviram de teste para cada classe, concluindo com isto que, quanto mais próximo o valor de cada classe relativamente ao total da coluna para cada classe considerada individualmente, maior é a pureza para a cada *pixel* pertencente a cada classe em análise.

Uma das formas de se determinar a exactidão do utilizador pode ser facilmente descrita através da seguinte expressão:

$$C/Total * 100 \qquad \qquad \qquad \text{Eq: 14}$$

Em que:

C corresponde a cada classe considerada individualmente sobre o total da coluna.

O resultado obtido para cada classe (*U_Accuracy*), representa a percentagem de *pixels* classificados como Águas Marinhas e Costeiras. De seguida, o processo repete-se até a última classe pertencente às classes em análise na matriz.

Aqui, importa sublinhar que, para a obtenção do valor dos *pixels* correctamente classificados, faz-se o somatório dos valores obtidos na diagonal da matriz, cuja ligação com os *pixels* de todas as classes classificados (classes teste), dita o rigor geral da classificação.

Contudo, apesar da matriz se apresentar como idêntica de ambas as partes (simétrica), importa referir que as diferenças verificadas nos totais linhas e totais colunas, tal como anteriormente referido, dizem respeito ao rigor do produtor e rigor do utilizador respectivamente.

De facto, a matriz de confusão é um instrumento de grande importância no que concerne a análise e rigor da classificação efectuada, contudo, existem outros métodos de análise de rigor do grau de pertença dos *pixels* numa dada classificação. Na verdade, a diferença da matriz e de uma das formas propostas por exemplo por Congalton *et.al*, (1983:1673), encontra-se no facto deste permitir não apenas determinar o rigor do produtor e do utilizador, como também permite obter informações relativas a *pixels* classificados correctamente ou não. O método em questão resulta da seguinte expressão:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad \text{Eq: 15}$$

Onde: *r* corresponde ao número de linhas da matriz de confusão, *X_{ii}* o número de observações na linha *i* coluna *i* (a diagonal de *pixels* bem classificados), *X_{i+}* e *X_{+i}* referem-se aos totais marginais da linha *i* e coluna *i* e *N* é o total das observações. No caso específico do Kappa, os valores obtidos para este estudo, encontram-se representados nas tabelas em baixo, para cada mês em análise.

Posto isto, com base nos resultados obtidos, efectuou-se uma análise da exactidão global e do índice *kappa*⁴⁵ (quadro 28).

Quadro 28: Matriz de confusão. Janeiro.

Classe	Construído	Não Construído	Sum
Construído	33	3	36
Não Construído	0	19	19
Não classificado	0	0	0
Total	33	22	
Exactidão do Produtor	1	0,86	
Exactidão do Utilizador	0,92	1	
<i>Hellden</i>	0,96	0,93	
<i>Short</i>	0,92	0,86	
Kappa Index Agreement por Classes	1	0,79	
<i>Exactidão Global</i>	0,95		
<i>Kappa Index Agreement</i>	0,88		

Observando a matriz referente ao mês de Janeiro, pode-se constatar uma elevada exactidão, tendo-se alcançado um rigor de 0,92 para a classe construído e 1 para a classe não construído. Relativamente a exactidão global (Rigor) alcançou-se um valor de 0,95 e um coeficiente Kappa de 0,88. De uma forma geral, é de sublinhar que a extrapolação dos resultados vai de encontro a aquilo que em função da análise visual nos pareceu o mais coerente de atingir.

Ao contrário dos valores obtidos para a classificação anterior (Janeiro), aqui, importa referir que o mês de Março (quadro 29) apresentou um rigor de 1 tanto para a classe construído como também para a classe não construído, com uma exactidão de 1 e

⁴⁵ O índice K, corresponde a um método bastante utilizado na classificação de imagens e varia entre o 0 e 1, sendo que o 0 representa concordância nula e o 1 concordância perfeita.

um índice/coeficiente Kappa de 1, alcançando assim o melhor que se pode atingir em termos de concordância relativamente a fotointerpretação e análise visual.

Quadro 29: Matriz de Confusão. Março.

Classe	Construído	Não Construído	Sum
Construído	27	0	27
Não Construído	0	24	24
<i>Não classificados</i>	0	0	0
<i>Total</i>	27	24	
Exactidão do Produtor	1	1	
Exactidão do Utilizador	1	1	
<i>Hellden</i>	1	1	
<i>Short</i>	1	1	
<i>Kappa Index Agreement por Classes</i>	1	1	
<i>Exactidão Global</i>	1		
<i>Kappa Index Agreement</i>	1		

Os resultados alcançados para o mês de Março, assemelham-se ao mês de Julho (quadro 30), embora, visualmente existem algumas diferenças, sobretudo, no que respeita ao número de objectos recolhidos. Na verdade, tais diferenças podem ser explicadas em parte com as diferenças nas condições de iluminações e nas variações de resposta espectral de algumas classes.

De um modo geral, em função das diferenças dos valores obtidos para os dois meses (Março e Julho), a conclusão mais plausível, pode ser encontrada na variação do coberto vegetal, embora, visualmente e com base nos resultados das duas imagens, salienta-se que, a variação é pouco expressiva.

De todas as classificações efectuadas para o nível 2 (maior abrangência), o mês de Outubro (quadro 31) foi aquele que apresentou o resultado mais baixo em relação aos restantes meses, embora, os resultados atingidos apresentam um rigor acima dos 0,60, tendo-se obtido 0,78 para a classe construído e 1 para a não-construído, com uma exactidão de 0,85 e um índice Kappa de 0,72.

Quadro 30: Matriz de Confusão. Julho.

Classe	Construído	Não Construído	Sum
Construído	20	0	20
Não Construído	0	23	23
<i>Não classificados</i>	0	0	0
Total	20	23	
Exactidão do Produtor	1	1	
Exactidão do Utilizador	1	1	
<i>Hellden</i>	1	1	
<i>Short</i>	1	1	
<i>Kappa Index Agreement</i> por Classes	1	1	
<i>Exactidão Global</i>	1		
<i>Kappa Index Agreement</i>	1		

Quadro 31: Matriz de Confusão. Outubro.

Classe	Construído	Não Construído	Sum
Construído	18	5	23
Não Construído	0	17	17
<i>Não classificados</i>	0	1	1
<i>Total</i>	18	23	
Exactidão do Produtor	1	0,74	
Exactidão do Utilizador	0,78	1	
<i>Hellden</i>	0,88	0,85	
<i>Short</i>	0,78	0,74	
<i>Kappa Index Agreement</i> por Classes	1	0,55	
<i>Exactidão Global</i>	0,85		
<i>Kappa Index Agreement</i>	0,72		

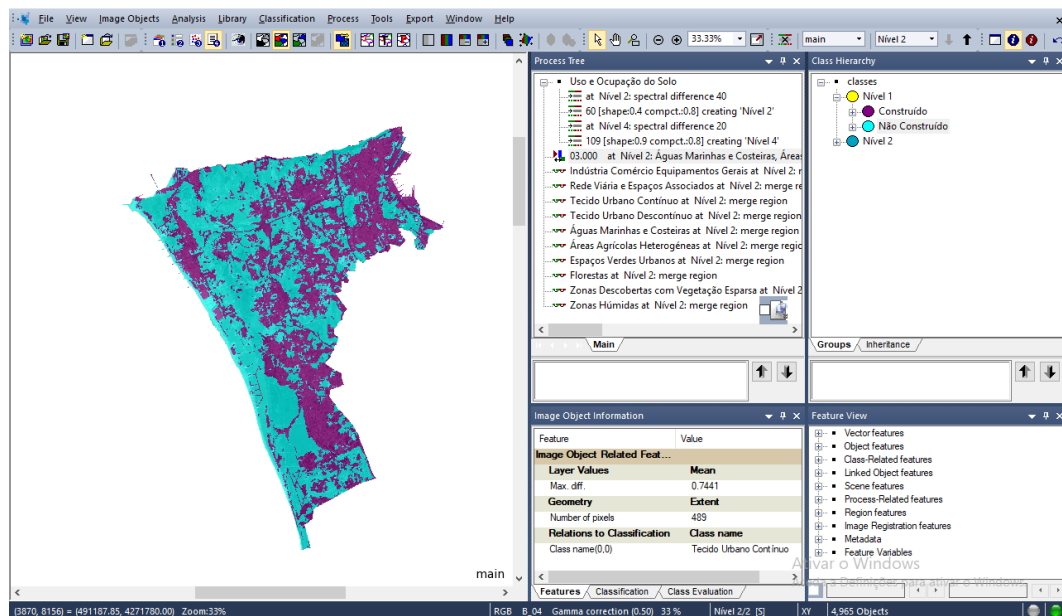
Como anteriormente referido, a classificação do nível 2 (nível de maior generalização), serviu apenas para se ter uma noção acerca da dispersão das classes, o que na verdade, serviu como base para a classificação do nível 1.

V. 1.4.3. Classificação do Nível 1 (1ª fase)

Como ficou exposto nos pontos anteriores, a classificação do nível 2 atrás efectuada, serviu como exercício de experimentação/ponto de partida para a classificação do nível 1, que será aquela sobre a qual é efectuada a análise e validação dos resultados da classificação baseada no objecto.

Posto isto, com base nos princípios da desagregação da informação evidente na nomenclatura de referência, após a classificação do nível 2, procedeu-se a classificação do nível 1. Aqui, importa sublinhar que numa primeira fase, foram apenas classificadas duas classes (construído 1 e não-construído 1) (ver figura 33).

Figura 33: Legenda da Classificação do Nível 1 (1ª fase).



Nesta fase, para o Nível 1, uma vez que para a segmentação multiresolução aplicou-se o parâmetro de escala mais baixo, foi possível obter maior número de segmentos. Por esta razão e com o nível mais baixo do parâmetro escala, os objectos obtidos apresentavam uma maior proximidade ao nível do *pixel*, relativamente aos restantes níveis.

De uma forma geral, na figura anterior, encontram-se os objectos criados para o nível 1 da classificação. Com o intuito de diferenciar as classes dentro da categoria construído e não-construído, iniciou-se a classificação do nível 1 com a criação das duas

categorias sobre as quais estarão integradas as restantes classes do nível mais baixo (desagregado).

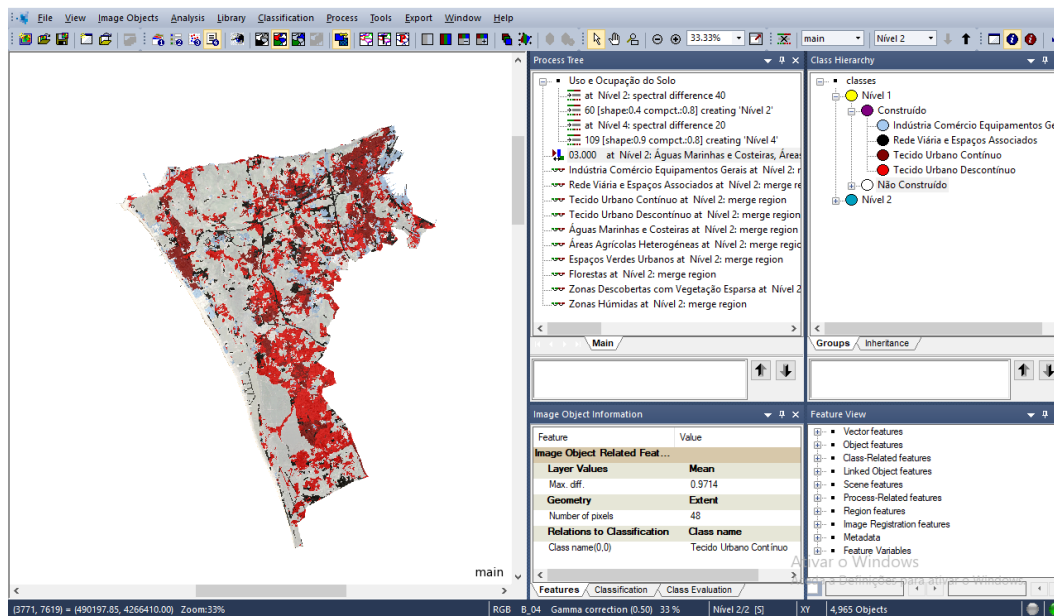
Posteriormente a determinação das duas categorias acima descritas, procedeu-se a classificação das classes do nível mais baixo (*child*) que compõem a categoria construído.

V. 1.4.3.1. Classificação das subclasses da Classe construído

Como foi referido atrás, a classificação das classes de nível inferior, e.g. “construído e não construído”, teve como principal objectivo, não apenas seguir a nomenclatura adoptada, como também, possibilitar a desagregação dessas mesmas classes em subclasses de uso e ocupação do solo. Nesta fase, o processo da classificação iniciou-se com a criação de classes a extrair cujas características enquadram-se dentro da classe “construído”.

Posto isto, a classificação que se propôs a realizar, foi ajustada a nomenclatura COS (Carta de Ocupação do Solo), tendo-se criado as seguintes classes (ver figura 34).

Figura 34: Legenda da Classificação.



A classificação dos objectos que constituem o subgrupo da “classe mãe” (construído), como é apresentada na figura 32, foi obtida por um processo de

classificação em que se recorreu a resposta espectral dos objectos. Na verdade, certas classes são melhor representadas por via das suas respostas espectrais.

Assim, a análise exploratória da classificação multiresolução, iniciou-se com a extracção das classes referentes a Indústria comércio e Equipamentos Gerais, Redes Viárias e Ferroviárias e Espaços Associados, Tecido Urbano Contínuo e Tecido Urbano Descontínuo. Nesta fase, utilizou-se a o operador *and (min)*, *Feature Max.diff* e a função utilizada foi a *full range*. Os parâmetros utilizados encontram-se no anexo 2.

Na figura 35 encontram-se representados os resultados das classificações dos objectos dentro da categoria construído

Com base nos resultados obtidos para as subclasses da classe Construído, a primeira conclusão que se pode retirar traduz-se no seguinte. Verificou-se uma variação em certas classes, embora, de uma forma geral, os resultados obtidos e a exactidão global foram satisfatórias.

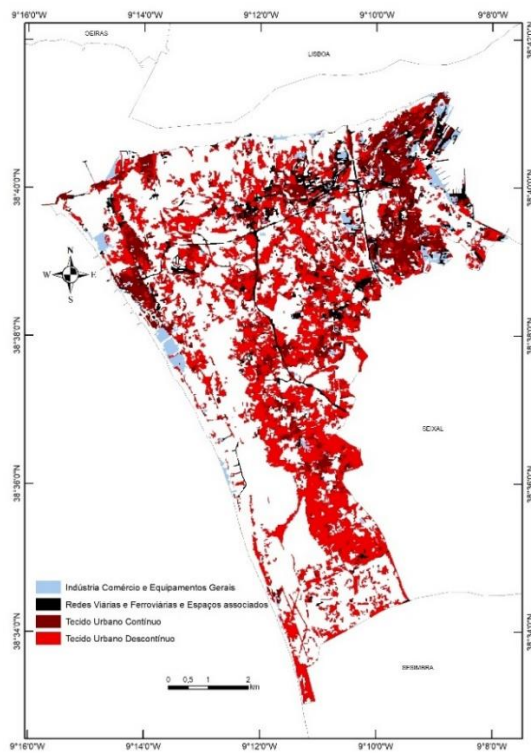
De facto, verifica-se uma ligeira diferença entre as diferentes datas classificadas, sobretudo, no que concerne a exactidão global e ao índice *Kappa*, embora, o mês de Outubro apresenta-se como aquele que menor exactidão global apresenta (0,89). Tal facto pode ser em parte explicado com o índice *Kappa* por classes, que é bastante baixa nas duas classes que constituem o Tecido Urbano Contínuo (0,48 e Tecido Urbano Descontínuo (0,70).

De uma forma geral, o mês de Março, apresenta-se com a melhor classificação, tendo uma exactidão global de 0,98 e um índice *Kappa* de 0,97, seguido de Janeiro (Exactidão global 0,97 e Índice *Kappa* de 0,96) e Julho (Exactidão Global de 0,97 e Índice *Kappa* de 0,95).

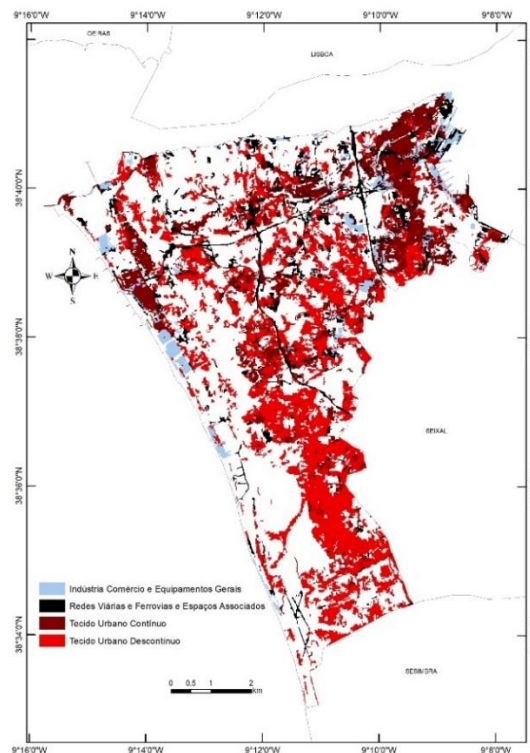
Aqui, importa sublinhar que, os resultados obtidos nesta fase, não foram sujeitos a validação, dado que, representam apenas uma fase do processo que antecede a classificação final⁴⁶. Posto isto, os quadros 32 a 35, traduzem os resultados obtidos a partir do *software eCognition*, apenas para as quatro subclasses da classe Construído.

⁴⁶ Para efeitos de validação das classificações com a “verdade” no terreno, apenas os resultados das classificações finais foram submetidos a validação com a realidade da área em estudo.

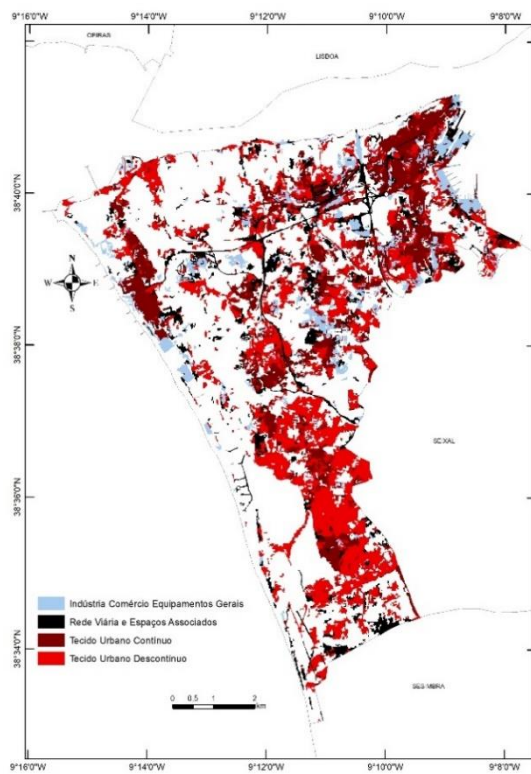
Figura 35: Resultados das Subclasses da Categoria Construído.



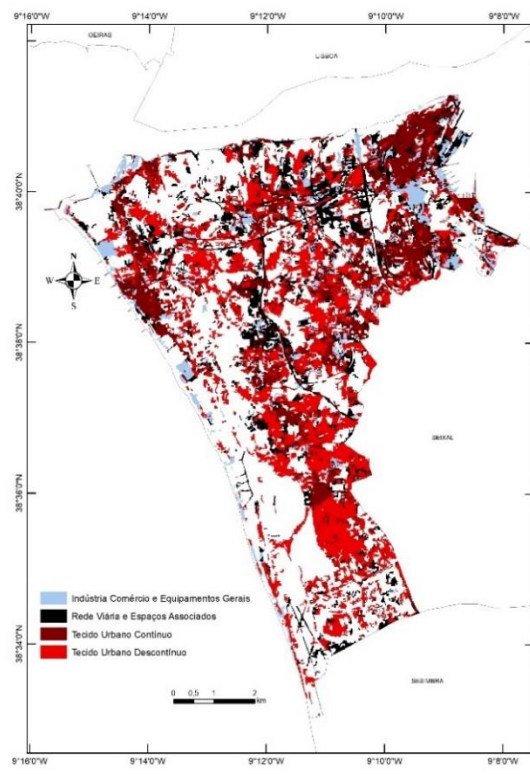
a) Janeiro



b) Março



c) Julho



d) Outubro

Quadro 32: Resultados da classificação das subclasses da classe Construído (Janeiro).

	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	Sum
C_1	Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	19	0	0	0	19
C_2	Tecido Urbano Contínuo	0	16	0	0	16
C_3	Tecido Urbano Descontínuo	0	0	20	1	21
C_4	Redes Viárias e Espaços associados	0	0	1	15	16
	Não classificados	0	0	0	0	0
	Total	19	16	21	16	
	Exactidão do Produtor	1	1	0,95	0,94	
	Exactidão do Utilizador	1	1	0,95	0,94	
	Hellden	1	1	0,95	0,94	
	Short	1	1	0,91	0,88	
	Kappa Index Agreement Por Classes	1	1	0,93	0,92	
	Exactidão Global	0,97				
	Kappa Index Agreement	0,96				

Quadro 33: Resultados da Classificação das subclasses da Classe Construído (Março).

	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	Sum
C_1	Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	15	0	0	0	15
C_2	Tecido Urbano Contínuo	0	28	2	0	30
C_3	Tecido Urbano Descontínuo	0	0	32	0	32
C_4	Redes Viárias e Espaços Associados	0	0	0	29	29
	Não classificados	0	0	0	0	0
	Total	15	28	34	29	
	Exactidão do Produtor	1	1	0,94	1	
	Exactidão do Utilizador	1	0,93	1	1	
	Hellden	1	0,97	0,97	1	
	Short	1	0,93	0,94	1	
	Kappa Index Agreement Por Classes	1	1	0,92	1	
	Exactidão Global	0,98				
	Kappa Index Agreement	0,97				

Quadro 34: Resultados da Classificação das subclasses da Classe Construído (Julho).

	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	Sum
C_1	Indústria Comércio Equipamentos Gerais	44	2	0	0	46
C_2	Tecido Urbano Contínuo	0	53	0	0	53
C_3	Tecido Urbano Descontínuo	0	0	35	0	35
C_4	Rede Viária e Espaços Associados	0	0	0	36	36
	Não classificados	1	0	3	0	4
	Total	45	55	38	36	
	Exactidão do Produtor	0,98	0,96	0,92	1	
	Exactidão do Utilizador	0,96	1	1	1	
	Hellden	0,97	0,98	0,96	1	
	Short	0,94	0,96	0,92	1	
	Kappa Index Agreement Por Classes	0,97	0,95	0,90	1	
	Overall Accuracy	0,97				
	Kappa Index Agreement	0,95				

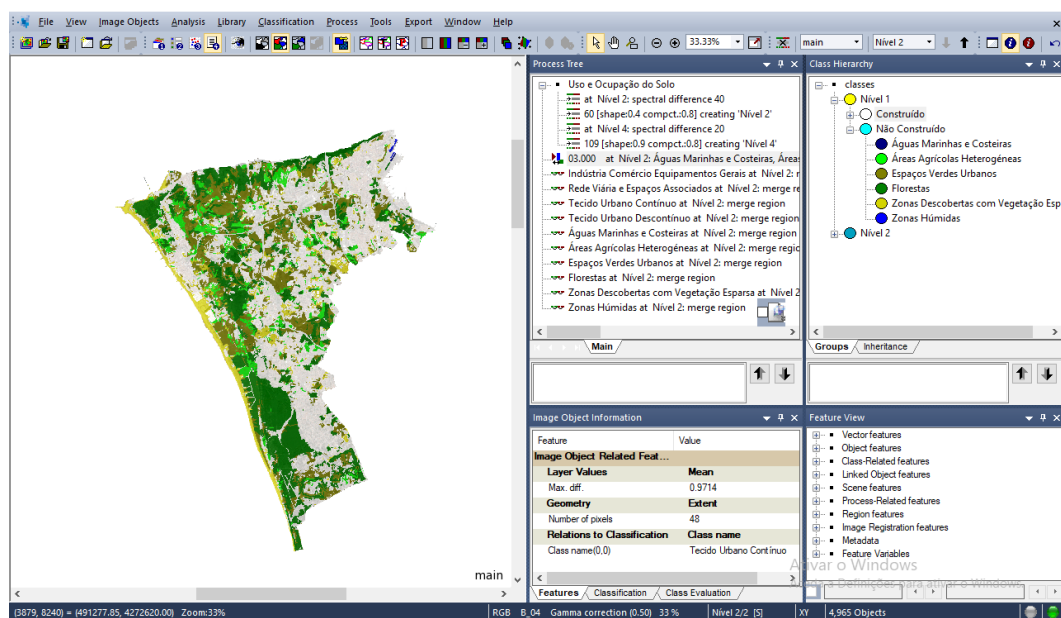
Quadro 35: Resultados da Classificação das subclasses da Classe Construído (Outubro).

	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	Sum
C_1	Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	3	0	1	0	4
C_2	Tecido Urbano Contínuo	0	1	0	0	1
C_3	Tecido Urbano Descontínuo	0	0	7	0	7
C_4	Rede Viária e Espaços Associados	0	0	0	14	14
	Não classificados	0	1	1	0	2
	Total	3	2	9	14	
	Exactidão do Produtor	1	0,5	0,78	1	
	Exactidão do Utilizador	0,75	1	1	1	
	Hellden	0,86	0,67	0,88	1	
	Short	0,75	0,5	0,78	1	
	Kappa Index Agreement Por Classes	1	0,48	0,70	1	
	Exactidão Global	0,89				
	Kappa Index Agreement	0,84				

V. 1.4.3.2. Classificação das subclasses da Classe Não-construído

Numa segunda fase da classificação, foram criadas as subclasses da Classe Não-Construído. Nesta fase, resultaram seis subclasses (ver figura 36).

Figura 36: Legenda das subclasses da Classe Não-Construído.



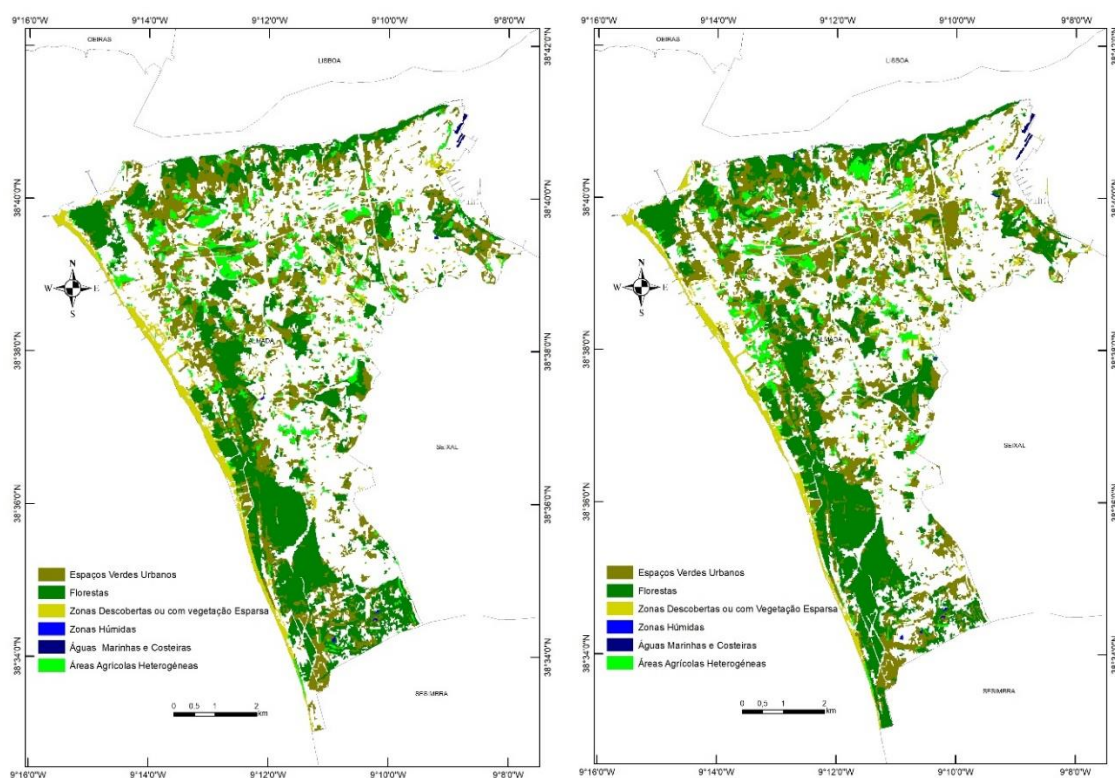
Tal como as classificações efectuadas atrás, nesta fase, utilizou-se os mesmos parâmetros de classificação para a determinação das subclasses. Os resultados obtidos revelaram enorme contraste entre os diferentes períodos em análise. Tal como ocorreu na classificação anterior, o mês de Março apresenta-se com a melhor classificação, tendo apresentado uma exactidão global de 0,95 e um Índice Kappa de 0,93, seguido de Janeiro com 0,92 da exactidão global e um Índice Kappa de 0,88.

Ao contrário do que sucedeu na classificação anterior, o mês de Julho apresenta-se com uma exactidão global de 0,91 e um Índice Kappa de 0,88. Embora com uma exactidão global e índice Kappa superiores a 0,50 tal como é exposto na tabela abaixo, Outubro surge aqui com a pior classificação comparativamente aos restantes meses, o que se pode explicar com a actividade clorofilina do coberto vegetal e as condições de iluminação características deste mês.

A variação da densidade da classe áreas agrícolas é bastante expressivo nas quatro classificações (figura 37). Uma das razões para esse facto, deve-se as respostas espectrais devido as condições de iluminação.

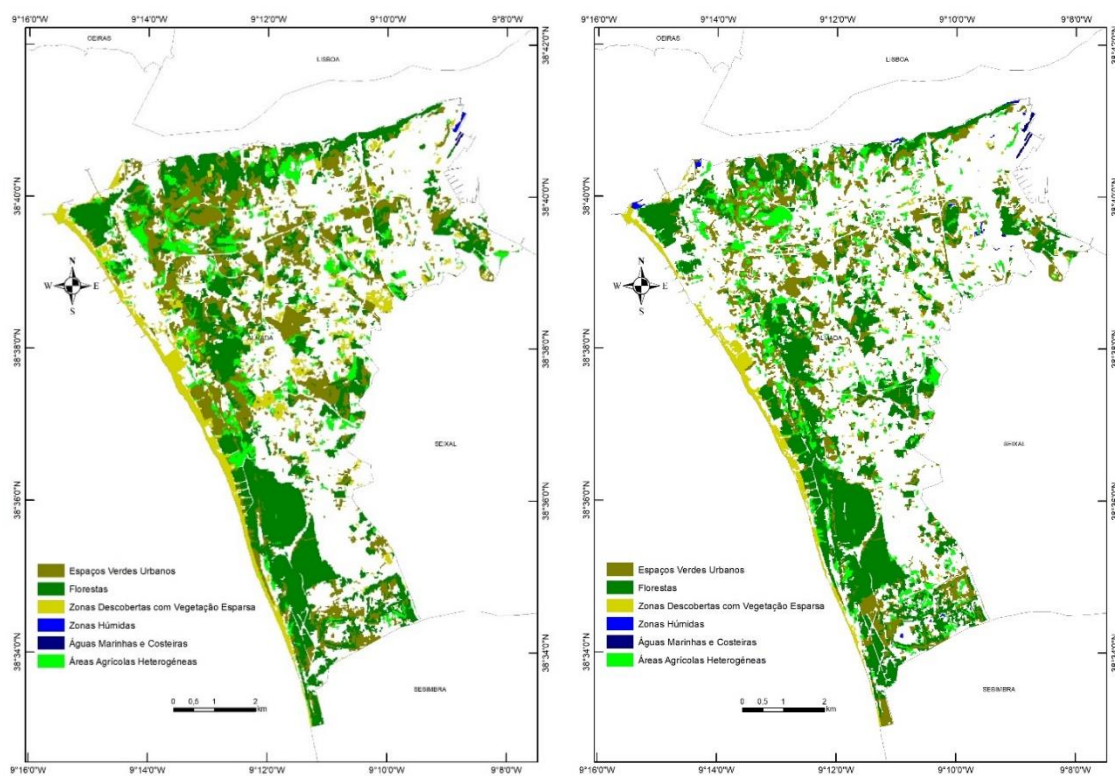
Salienta-se, no entanto, que, apesar das diferenças verificadas nos resultados obtidos, ainda assim, verifica-se uma dispersão das classes, quase idêntica nos quatro períodos, a exceção de algumas classes como é exemplo disso as áreas agrícolas heterogêneas, espaços verdes urbanos e zonas húmidas.

Figura 37: Resultados das classificações das subclasses da classe Não construído.



a) Janeiro

b) Março



c) Julho

d) Outubro

Os quadros 36 a 39 de matriz confusão, apresentam os respectivos valores obtidos na classificação. Aqui, entendemos importante sublinhar que os valores apresentados auxiliam bastante a interpretação das classificações, no sentido em que, a existência de uma amostra estatística para cada imagem, possibilita uma melhor interpretação e uma melhor interpretação do rigor de cada parcela de teste.

Quadro 36: Matriz confusão das subclasses da Classe Não construído (Janeiro).

Código	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Sum
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	1	0	0	0	0	0	1
C_2	Áreas Agrícolas Heterogéneas	0	7	0	0	0	0	7
C_3	Florestas	0	0	8	0	0	0	8
C_4	Espaços Verdes Urbanos	0	0	0	22	0	0	22
C_5	Zonas Descobertas ou com vegetação Esparsa	0	0	0	0	2	0	2
C_6	Zonas Húmidas	0	0	0	0	0	4	4
	Não classificados	0	0	1	0	2	1	4
	Total	1	7	9	22	4	5	
	Exactidão do Produtor	1	1	0,89	1	0,5	0,8	
	Exactidão do Utilizador	1	1	1	1	1	1	
	<i>Hellden</i>	1	1	0,94	1	0,67	0,89	
	<i>Short</i>	1	1	0,89	1	0,5	0,8	
	<i>Kappa Index Agreement</i> por Classes	1	1	0,87	1	0,48	0,78	
	Exactidão Global	0,92						
	<i>Kappa Index Agreement</i>	0,89						

Quadro 37: Matriz confusão das subclasses da classe Não construído (Março).

Código	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Sum
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	2	0	0	0	0	0	2
C_2	Áreas Agrícolas Heterogéneas	0	10	0	0	0	0	10
C_3	Florestas	0	0	11	0	0	0	11
C_4	Espaços Verdes Urbanos	0	0	1	44	0	0	45
C_5	Zonas Descobertas ou com Vegetação Esparsa	0	0	0	0	8	0	8
C_6	Zonas Húmidas	0	0	0	0	0	4	4
	Não classificados	0	0	0	0	3	0	3
	Total	2	10	12	44	11	4	
	Exactidão do Produtor	1	1	0,92	1	0,73	1	
	Exactidão do Utilizador	1	1	1	0,98	1	1	
	<i>Hellden</i>	1	1	0,96	0,99	0,84	1	
	<i>Short</i>	1	1	0,92	0,98	0,73	1	
	<i>Kappa Index Agreement</i> por Classes	1	1	0,90	1	0,69	1	
	Exactidão Global	0,95						
	<i>Kappa Index Agreement</i>	0,93						

Quadro 38: Matriz confusão das subclasses da classe Não construído (Julho).

Código	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Sum
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	4	0	0	0	0	0	4
C_2	Áreas Agrícolas Heterogêneas	0	7	0	0	0	0	7
C_3	Florestas	0	2	14	1	0	0	17
C_4	Espaços Verdes Urbanos	0	3	0	25	0	1	29
C_5	Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	0	0	0	0	18	0	18
C_6	Zonas Húmidas	0	0	0	0	0	2	2
	Não classificados	0	0	0	0	0	0	0
	Total	4	12	14	26	18	3	
	Exactidão do Produtor	1	0,58	1	0,96	1	0,67	
	Exactidão do Utilizador	1	1	0,82	0,86	1	1	
	<i>Hellden</i>	1	0,74	0,90	0,91	1	0,8	
	<i>Short</i>	1	0,58	0,82	0,83	1	0,67	
	<i>Kappa Index Agreement</i> por Classes	1	0,54	1	0,94	1	0,66	
	Exactidão Global	0,91						
	<i>Kappa Index Agreement</i>	0,88						

Quadro 39: Matriz confusão das subclasses da classe Não construído (Outubro).

Código	Classes	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Sum
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	4	0	0	0	0	0	4
C_2	Áreas Agrícolas Heterogêneas	0	2	0	0	0	0	2
C_3	Florestas	0	1	1	0	0	0	2
C_4	Espaços Verdes Urbanos	0	1	0	7	0	0	8
C_5	Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	0	0	0	0	1	0	1
C_6	Zonas Húmidas	0	0	1	1	0	3	5
	Não classificados	0	2	0	2	0	0	4
	Total	4	6	2	10	1	3	
	Exactidão do Produtor	1	0,33	0,5	0,7	1	1	
	Exactidão do Utilizador	1	1	0,5	0,86	1	0,6	
	<i>Hellden</i>	1	0,5	0,5	0,78	1	0,75	
	<i>Short</i>	1	0,33	0,33	0,64	1	0,6	
	<i>Kappa Index Agreement</i> por Classes	1	0,28	0,46	0,57	1	1	
	Exactidão Global	0,69						
	<i>Kappa Index Agreement</i>	0,62						

CAPÍTULO VI - RESULTADOS

VI. 1. Classificação Final

A classificação do uso e ocupação do solo constitui um método prático útil aos processos de planeamento e Ordenamento do Território, dado que, permite uma melhor interpretação da área onde será feita uma intervenção. Neste contexto, a Detecção Remota e particularmente a classificação de imagens de satélite, constituem um método indispensável para o auxílio a uma melhor interpretação dos fenómenos.

Na verdade, com o advento e a introdução dos métodos de Detecção Remota e informação geográfica, abrem-se novos campos e novas experiências, centradas essencialmente na complementaridade dos métodos geográficos em Ordenamento do Território com as recentes Tecnologias de Informação Geográfica. Neste contexto, a presente Tese, teve como principal objectivo, contribuir através do método *GEOBIA*, para uma melhor compreensão dos fenómenos no município de Almada.

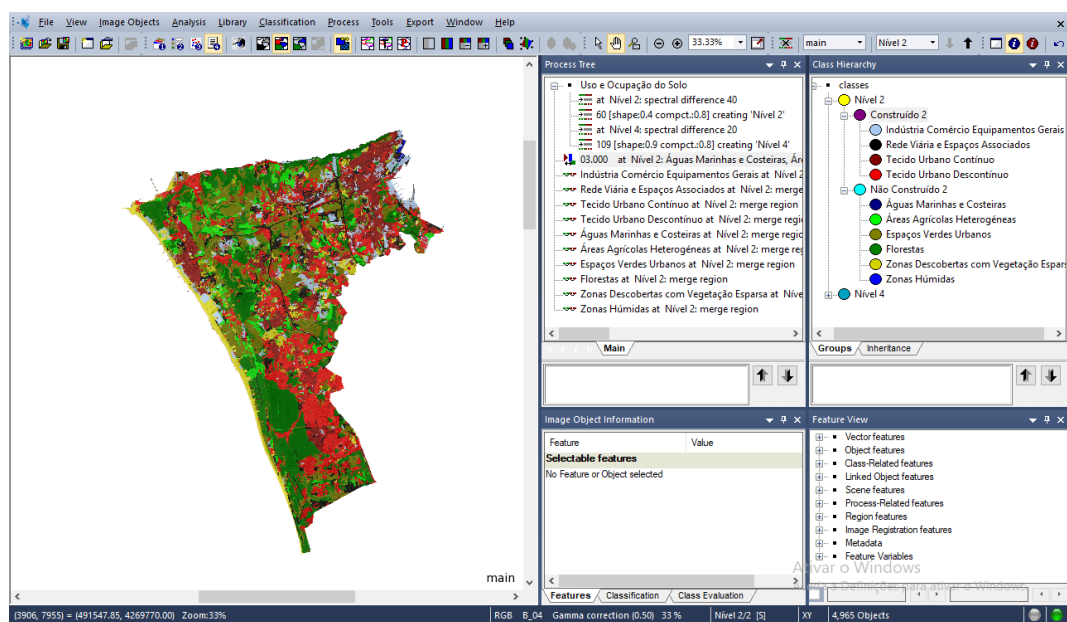
A metodologia *GEOBIA*, como ficou evidente nos capítulos anteriores, possibilita através de um processo célere, a obtenção de resultados de elevada precisão para a elaboração e validação dos processos de Ordenamento do Território.

Efectivamente, a metodologia *GEOBIA*, constitui um método com enormes potencialidades em matéria de extracção de informação referentes ao uso e ocupação do solo em diferentes escalas de análise. Assim sendo, utilizou-se esta técnica para a classificação baseada no objecto, sobre imagens *Sentinel-2* multiresolução intra-anual.

Posto isto, para a classificação dos dados acima referidos, foram utilizados os mesmos parâmetros utilizados para a classificação das subclasses das classes construído e não construído. Assim, numa segunda fase de classificação das subclasses acima mencionadas, foi centrada no melhoramento das classificações.

Assim, a figura 38, representa as subclasses de uso de solo extraídos nos quatro períodos em análise. De uma forma geral, foram extraídas 10 classes de uso de solo, que entendemos serem suficientes e representativos das principais classes presentes na área em estudo.

Figura 38: Legenda das Classes de uso de Solo Final.



A classificação efectuada centrou-se sobretudo nas classes atrás mencionadas. Aqui, importa referir que a determinação das classes a extrair para o Nível 1, resultou da adopção da nomenclatura COS, que serviu de base de partida para a classificação de uso e ocupação do solo baseada no objecto (*GEOBIA*).

Posteriormente a determinação das classes a extrair, procedeu-se a codificação das mesmas, de forma a permitir uma fácil leitura, sobretudo, uma leitura das respectivas matrizes de confusão. Neste contexto, o quadro 40, apresenta as classes e os respectivos códigos referentes a cada classe.

Quadro 40: Classes de uso do solo codificados.

Código	Classes
C_1	Águas Marinhas e Costeiras
C_2	Áreas Agrícolas Heterogêneas
C_3	Espaços Verdes Urbanos
C_4	Florestas
C_5	Indústria Comércio e Equipamentos Gerais
C_6	Redes Viárias e Ferrovias e Espaços Associados
C_7	Tecido Urbano Contínuo
C_8	Tecido Urbano Descontínuo
C_9	Zonas Descobertas ou com Vegetação Esparsa
C_10	Zonas Húmidas

De facto, em relação às classes de uso de solo, efectuaram-se os cálculos de avaliação de exactidão de forma a serem retiradas as conclusões com maior credibilidade, em detrimento de uma simples análise visual. Embora, não se tenha abordado muito essa temática, é de referir que um dos entraves encontrados ao longo das classificações efectuadas prende-se sobretudo com a delimitação das fronteiras entre os polígonos, pois verificou-se alguma mistura espectral, facto comum nos períodos em análise.

VI. 2. Validação Temática das Classificações e Análise das Matrizes

O município de Almada apresenta uma elevada diversidade de classes de uso de solo, o que para uma análise e validação das classificações, é condição que contribui para o incremento de possíveis erros que possam surgir, caso se esteja a referir ao rigor da classificação. Por este facto, sempre que se esteja perante uma elevada mistura das classes de uso de solo, torna-se imprescindível a análise de uma matriz de confusão.

Uma matriz de confusão, “na sua forma mais comum permite comparar a qualidade da classificação efectuada com um documento de referência, geralmente um mapa” (Casimiro, 2002:331).

No caso particular deste estudo, as matrizes obtidas após a validação dos dados, resultaram da comparação dos resultados da classificação multitemporal efectuada com um documento homologado (COS), com o intuito de ter uma base segura no processo de análise e extrapolação de resultados.

Do ponto de vista esquemático, a matriz de confusão é composta por colunas e linhas respectivamente. No “eixo” das colunas, encontram-se representadas as áreas classificadas para cada classe com base no algoritmo multiresolução. No fundo, representam a exactidão do consumidor/utilizador (*User_Accuracy*). Os valores totais das colunas de uma matriz representam as classificações dos polígonos baseados no valor destes e não para toda a imagem.

Por sua vez, nas linhas, encontram-se representadas às áreas teste, que na verdade, representam a exactidão do produtor (*Producer_Accuracy*), cujos resultados totais permitem aferir a qualidade das áreas que serviram de teste.

Após a classificação das imagens e as respectivas correcções necessárias, resultante, das misturas espectrais em certos polígonos extraídos, procedeu-se à análise

da exactidão das classificações e validação das mesmas. Efectivamente, as misturas foram uma constante em quase todas as classificações efectuadas. Neste contexto, um dos procedimentos mais frequentes para a correcção das classes extraídas através da análise visual, consiste na validação temática das classificações efectuadas.

Neste sentido, com base no referido atrás e cientes dos problemas inerentes a classificação de imagens de satélite, procedeu-se a validação das classificações. Na verdade, esta tarefa consiste não só em minimizar a confusão espectral que possa ser detectada, por assim dizer, mas também, em confrontar os dados classificados com a verdade no terreno, de forma a optimizar o grau de pertença de uma certa classe no terreno a um dado polígono resultante da segmentação e a classificação multiresolução.

Em detecção remota, existem dois tipos de validação da exactidão que possam ser utilizados para a minimização das misturas espectrais detectadas após a classificação dos dados: a validação Temática e a validação Posicional. Como o nome indica, a validação Temática prende-se com a análise dos atributos das classes na imagem (mapa), na tentativa de perceber a diferença existente com os fenómenos na realidade. Por sua vez, a validação Posicional, refere-se à localização de um dado fenómeno na imagem, comparando-o com a posição exacta em que o mesmo fenómeno se encontre na realidade.

Nos processos de validação dos dados e análises de precisão descritivas, é frequente a utilização de uma matriz de confusão (cf. Página 178), em que os parâmetros como especificações do produtor e do utilizador são levados em consideração de forma a facilitar a análise dos resultados obtidos através da matriz.

Por esta razão, entendemos ser pertinente, comparar os dados classificados com os dados reais presentes no espaço em análise, tendo para isso utilizado a matriz de confusão de forma a facilitar a análise das informações das diferentes classes extraídas. Na verdade, o uso de matriz de confusão neste estudo serve para quantificar o grau de pertença e confusão entre as diferentes classes.

Assim, as tabelas que de seguida se apresentam, referem-se aos resultados das classificações efectuadas para os quatro períodos em estudo, validadas com a realidade no terreno (*Ground Truth*).

VI. 2.1. Análise dos resultados da validação da Matriz de Confusão

No caso específico deste estudo, e passando a análise individual de cada matriz, é de referir que, a análise será centrada de acordo com a ordem das classificações efectuadas. Assim, a primeira matriz a analisar diz respeito ao mês de Janeiro.

Importa referir que, de todas as classes definidas na pré-legenda, na matriz de confusão acabou-se por não representar a classe C_10 Zonas Húmidas. Na verdade, a não representação desta, deveu-se essencialmente a reduzida dimensão dos polígonos que a mesma representa.

De acordo com as directrizes da Carta de Ocupação do Solo (COS), e como já anteriormente citado, a unidade mínima ou área mínima de análise, de forma a permitir discriminar uma classe, corresponde a 1 ha, com distâncias entre linhas igual ou superior a 20 metros, em que a percentagem de uma dada classe de uso e ocupação do solo, deve ser igual ou superior a 75% da área do polígono em que a classe se encontre inserida. Por esta razão, a classe Zonas Húmidas não está representada nos quadros 41 a 44.

Janeiro:

As primeiras conclusões a retirar com base nos resultados obtidos para o mês de Janeiro (quadro 41), são:

A excepção das classes águas Marinhas e Costeiras e Espaços Verdes Urbanos, todas as restantes classes apresentam um elevado grau de pureza dos *pixels* em relação ao total da coluna, o que se reflectiu na exactidão do utilizador. Relativamente a exactidão do produtor, verificou-se também um elevado grau de pertença, sendo que em alguns casos atingiu-se mesmo classificações boas, como é o caso da Rede viária e Ferroviária e Espaços Associados.

Embora de uma forma geral o rigor das classificações, tanto do produtor como do utilizador/usuário tenham apresentados valores elevados do grau de pertença, ainda assim, verificam-se algumas particularidades.

Assim, no que respeita ao rigor do produtor, verificaram-se algumas classes cujo rigor apresenta valores baixos em relação a classificação global (Águas Marinhas e Costeiras, Áreas Agrícolas Heterogéneas e Indústria Comércio e Equipamentos Gerais).

No caso específico de Águas Marinhas e Costeiras, apresenta para as duas situações um valor 0, o que poderá ter como explicação a confusão que esta apresenta em relação as classes Indústria e Rede Viária (o que acaba por afectar a resposta espectral), sem esquecer também a dimensão desta classe no contexto da área total o que acaba por não ter uma expressão considerável, devido a uma pequena dimensão da mesma o que acaba por limitar o número de amostra de teste. Na verdade, o valor para esta classe, é 0, tal como a classe Zonas Húmidas.

Relativamente a classe Áreas Agrícola Heterogénea, surge como a que mais baixo rigor do produtor apresenta 0,40 após as duas classes acima mencionadas. Uma das explicações para este facto, deve-se essencialmente a uma reduzida expressão desta classe no mês em questão, o que acaba por verificar-se na mistura com a classe Tecido Urbano Contínuo e Descontínuo e Indústria.

No que concerne a Indústria Comércio e Equipamentos Gerais, esta apresenta um rigor do produtor de 0,55. Esta classe, por apresentar uma resposta espectral idêntica em algumas áreas a Tecido Urbano Contínuo, confundindo-se um pouco com esta em termos do rigor das áreas que serviram de teste. Na verdade, esta mistura/confusão faz sentido, sobretudo no que respeita ao tipo de cobertura.

Relativamente às restantes classes verificou-se uma elevada exactidão do rigor do produtor (das áreas que serviram de teste), tendo-se registado valores superiores a 0,70, chegando mesmo a alcançar o valor mais elevado (1) no caso da classe Redes Viária e Ferroviária e Espaços Associados.

De uma forma geral, para a classificação de Janeiro, a Exactidão Global obtido foi de 0,84 e um Coeficiente/Índice K de 0,78, o que de uma forma geral, são resultados bastante bons em termos do rigor das classificações encontrando-se acima do mínimo necessário para que a validação seja aceitável (relativamente ao *Ground Truth*).

Quadro 41: Resultados Validação. Janeiro.

Códigos	Classe	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	Total	Exactidão do Utilizador	Kappa Index Agreement
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	Áreas Agrícolas Heterogéneas	0	6	0	1	1	0	1	1	0	10	0,6	0
C_3	Espaços Verdes Urbanos	0	4	3	11	1	0	1	4	4	28	0,11	0
C_4	Floresta	0	1	1	163	0	0	0	5	0	170	0,96	0
C_5	Indústria Comércio e Equipamentos	0	0	0	0	5	0	1	0	0	6	0,83	0
C_6	Redes Viária e Ferroviário e Espaços	0	0	0	0	0	11	1	0	0	12	0,92	0
C_7	Tecido Urbano Contínuo	0	0	0	0	1	0	54	2	0	57	0,95	0
C_8	Tecido Urbano Descontínuo	0	4	0	7	1	0	6	78	1	97	0,8	0
C_9	Zonas Descobertas com Vegetação	2	0	0	1	0	0	1	0	16	20	0,8	0
	Total	2	15	4	183	9	11	65	90	21	400	0	0
	Exactidão do Produtor	0	0,4	0,75	0,89	0,56	1	0,83	0,87	0,76	0	0,84	0
	Kappa Index Agreement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,78

Março:

No que respeita aos resultados obtidos para o mês de Março (quadro 42), um dos aspectos que nos parece importante para a análise da matriz, prende-se com uma clara melhoria do rigor, tanto do produtor, como do utilizador.

De facto, ao consultarmos as classes apresentadas na matriz, deparamos com uma considerável melhoria da exactidão global e do índice *Kappa*. para explicar essa melhoria, uma das possíveis explicações a retirar, remete-nos para o período em causa (Primavera), o que poderá ter influências na resposta espectral dos fenómenos, justificando esse facto com as condições de iluminação característica desse período.

Quadro 42: Resultados Validação. Março.

Códigos	Classe	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	Total	Exactidão do Utilizador	Kappa Index Agreement
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	Áreas Agrícolas Heterogéneas	0	6	0	2	0	0	1	1	0	10	0,6	0
C_3	Espaços Verdes Urbanos	0	5	4	9	1	0	2	4	4	29	0,14	0
C_4	Floresta	0	3	0	167	0	0	0	1	0	171	0,98	0
C_5	Indústria Comércio e Equipamentos	0	1	0	0	5	0	2	0	0	8	0,63	0
C_6	Redes Viária e Ferroviária e Espaços	0	0	0	0	1	11	1	0	0	13	0,85	0
C_7	Tecido Urbano Contínuo	0	0	0	0	0	0	51	1	0	52	0,98	0
C_8	Tecido Urbano Descontínuo	0	0	0	4	2	0	8	83	1	98	0,85	0
C_9	Zonas Descobertas com Vegetação	2	0	0	1	0	0	0	0	16	19	0,84	0
	Total	2	15	4	183	9	11	65	90	21	400	0	0
	Exactidão do Produtor	0	0,4	1	0,91	0,56	1	0,78	0,92	0,76	0	0,86	0
	Kappa Index Agreement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8

Como referido atrás, de facto, uma das primeiras conclusões a retirar da matriz é uma melhoria dos valores da exactidão global (0,86) e do coeficiente *Kappa* (0,80). Na verdade, esses valores são bons e dão uma certeza acrescida acerca das áreas que serviram de teste, garantindo deste modo, um elevado grau de pureza destas áreas.

Embora, tenha sido verificado uma melhoria no grau de pureza das áreas teste, ainda assim, é importante destacar as classes tais como, Águas Marinhas e Costeiras, cujo valor permanece 0, o que de uma forma clara indica ausência de informações acerca da pureza dos *pixels* que compõem a área de teste para esta classe e Espaços Verdes Urbanos, cujo grau de pureza dos *pixels* que serviram de teste é bastante baixo, embora apresente uma exactidão do produtor máxima (1), tal como a classe Redes Viária e Ferroviária e Espaços Associados.

De facto, em termos do rigor do utilizador/usuário a excepção das classes, Águas Marinhas e Costeiras que apresenta um valor de 0 em termos do rigor, Áreas Agrícolas Heterogénea cujo rigor do consumidor é de 0,6. Embora, baixa em relação aos valores verificados nas restantes classes, ainda assim, é um valor considerável em termos do rigor. Por fim, a classe Indústria Comércio e Equipamentos Gerais, surge com um valor de 0,65.

De uma forma geral, o rigor do consumidor apresenta valores elevados, que permitem concluir que os graus de pureza das áreas de teste são bons e aceitáveis. Por outro lado, o rigor do produtor apresenta-nos duas classes (Águas Marinhas e costeiras e Áreas Agrícolas Heterogéneas) cujos valores obtidos, encontram-se abaixo dos níveis normais (aceitáveis).

No caso da classe Áreas Agrícolas Heterogénea, esta constitui uma excepção relativamente ao conjunto das classes em análise, sendo que, o valor obtido resulta da confusão que esta classe apresenta sobretudo, com as classes Floresta, Tecido Urbano Contínuo e Descontínuo.

No geral, além das particularidades atrás mencionados, é de sublinhar que o rigor do produtor apresenta resultados excelentes, demonstrando desta forma um elevado grau de pureza das áreas que serviram de teste.

Julho:

Relativamente ao mês de Julho (quadro 43), este apresenta um rigor global 0,86 e um índice Kappa de 0,81. Aqui, importa sublinhar que, embora, tenha sido verificado uma ligeira alteração no rigor Global alcançado no período anterior, ainda assim, o mês de Julho corresponde ao período com melhor resultado obtido.

As explicações encontradas para os resultados obtidos, prendem-se com a melhoria nas condições de iluminação, elevada actividade dos fenómenos em análise, sobretudo, no que concerne a respostas espectrais das classes em análise, etc.

Passando para uma análise pormenorizada da matriz obtida, salienta-se que de forma geral, registou-se uma melhoria considerável da exactidão do utilizador, a excepção da classe Águas Marinhas e Costeiras que apresenta um valor nulo.

Quadro 43: Resultados Validação. Julho.

Códigos	Classe	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	Total	Exactidão do Utilizador	Kappa Index Agreement
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	Áreas Agrícolas Heterogéneas	0	7	0	0	0	0	2	1	0	10	0,7	0
C_3	Espaços Verdes Urbanos	0	4	3	7	1	0	1	2	4	22	0,14	0
C_4	Floresta	0	1	1	169	0	0	0	3	0	174	0,97	0
C_5	Indústria Comércio e Equipamentos	0	0	0	0	5	0	1	0	0	6	0,83	0
C_6	Redes Viária e Ferroviária e Espaços	0	0	0	1	0	11	3	0	0	15	0,73	0
C_7	Tecido Urbano Contínuo	0	0	0	0	2	0	50	0	0	52	0,96	0
C_8	Tecido Urbano Descontínuo	0	2	0	5	1	0	5	84	1	98	0,86	0
C_9	Zonas Descobertas com Vegetação	2	1	0	1	0	0	3	0	16	23	0,7	0
	Total	2	15	4	183	9	11	65	90	21	400	0	0
	Exactidão do Produtor	0	0,47	0,75	0,92	0,56	1	0,77	0,93	0,76	0	0,86	0
	Kappa Index Agreement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,81

No que respeita a exactidão do produtor, a excepção das classes Águas Marinhas e Costeiras (0), Áreas Agrícolas Heterogéneas (0,47) e Indústria Comércio e Equipamentos Gerais (0,56).

No que se refere, a classe Indústria Comércio e Equipamentos Gerais, embora se tenha verificado um elevado grau de pureza dos *pixels* das áreas de teste, ainda assim, apresenta um rigor de produtor 0,56 e um rigor de Utilizador de 0,83, registando desta forma uma ligeira melhoria em relação ao período anterior (0,63).

De uma forma geral, é de referir que, os valores referentes a pureza dos *pixels* foram bons, a excepção da classe Espaços Verdes Urbanos, devido à confusão que esta apresenta sobretudo, com a Floresta e em algumas áreas com a classe Tecido Urbano Descontínuo. Na verdade, Espaços Verdes Urbanos confunde-se facilmente com a classe Floresta, visto que, constituem áreas heterogéneas (*pixels* com características diferentes), o que acaba por ser decisivo na confusão e pureza dos mesmos. Assim, a reduzida pureza dos *pixels* juntamente com a confusão existente entre classes acabam por ser admissíveis.

Apesar das confusões registadas em algumas classes, é de salientar que o período em análise constitui, de todos os quatro períodos analisados, aquele que melhor rigor apresenta (rigor global e *Kappa Index Agreement*).

Outubro:

Como seria de esperar, de todos os períodos em análise, o mês de Outubro (quadro 44) apresenta-se como o período que menor rigor apresenta em termos de pureza dos *pixels*, do rigor Global e Coeficiente *Kappa*.

Quadro 44: Resultados Validação Outubro.

Códigos	Classe	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	Total	Exactidão do Utilizador	Kappa Index Agreement
C_1	Águas Marinhas e Costeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	Áreas Agrícolas Heterogéneas	0	1	0	3	0	0	1	2	1	8	0,13	0
C_3	Espaços Verdes Urbanos	0	7	3	19	1	0	2	5	4	41	0,07	0
C_4	Floresta	0	1	1	151	0	0	0	2	0	155	0,97	0
C_5	Indústria Comércio e Equipamentos	0	0	0	0	5	0	5	2	3	15	0,33	0
C_6	Redes Viária e Ferroviária e Espaços	0	0	0	2	1	11	6	12	0	32	0,34	0
C_7	Tecido Urbano Contínuo	0	0	0	3	0	0	44	7	0	54	0,81	0
C_8	Tecido Urbano Descontínuo	0	6	0	4	2	0	7	60	0	79	0,76	0
C_9	Zonas Descobertas com Vegetação	2	0	0	1	0	0	0	0	13	16	0,81	0
	Total	2	15	4	183	9	11	65	90	21	400	0	0
	Exactidão do Produtor	0	0,07	0,75	0,83	0,56	1	0,68	0,67	0,7	0	0,72	0
	Kappa Index Agreement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,63

Na verdade, este período corresponde a um momento em que se verifica uma reduzida actividade (resposta espectral) no que concerne sobretudo, a classes como Floresta, Espaços Verdes Urbanos e até mesmo do Tecido Urbano, facto que se deve a reduzida exposição solar (condições de iluminação), elevada confusão dos *pixels*, o que se reflecte num aumento de mistura e confusão dos *pixels* que compõem as áreas de teste.

Com base, nos valores apresentados pela matriz de confusão, verifica-se uma elevada confusão entre algumas classes em análise. De facto, a pureza dos *pixels* das áreas de teste, é bastante reduzida quase na totalidade das classes analisadas, como é evidenciado na tabela abaixo.

Com base nos resultados obtidos na matriz de confusão, é de referir que em termos do rigor do produtor, verificam-se elevada confusão entre as classes e uma reduzida pureza dos *pixels*, sobretudo nas classes, Áreas Agrícolas Heterogéneas (0,06), Espaços Verdes Urbanos (0,56). Contudo, a classe Redes Viária e Ferroviária e Espaços Associados, surge com um valor máximo (1), o que se justifica com as características que esta apresenta.

Relativamente à pureza dos *pixels*, é de sublinhar que à excepção das classes Floresta, Tecido Urbano Contínuo, Tecido Urbano Descontínuo e Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa, verifica-se uma reduzida pureza nos *pixels* que compõem as áreas de treino das classes Área Agrícola Heterogénea, Espaços Verdes Urbanos e Indústria Comércio e Equipamentos Gerais.

Assim, no que respeita ao rigor do utilizador, as classes atrás mencionadas, apresentam um rigor baixo, o que é admissível, devido, sobretudo, as características dos *pixels* que compõem essas classes.

No caso da classe Áreas Agrícolas Heterogéneas, esta classe apresenta um rigor de 0,13, o que é bastante reduzido em termos de exactidão temática. Uma das explicações que se pode apresentar para esta classe em particular, prende-se com a confusão verificada sobretudo com a classe Floresta e Tecido Urbano Descontínuo.

Por sua vez, a classe Espaços Verdes Urbanos, apresenta um rigor do Utilizador de 0,07. A razão pela qual se verifique este valor poderá estar relacionado com a classificação e também o erro posicional dos polígonos cujos *pixels* foram “recolhidos” no momento da extracção das parcelas de teste.

No que respeita a classe Indústria Comércio e Equipamentos Gerais, verificou-se um rigor do utilizador de 0,33, facto que se justifica não só com a reduzida pureza dos *pixels* que serviram de teste, como também com a confusão verificada entre esta classe e as classes Tecido Urbano Contínuo, Tecido Urbano Descontínuo e algumas Zonas Descobertas e com Vegetação Esparsa.

De modo geral e como anteriormente referido, dos quatro períodos em análise, o mês de Outubro apresenta a mais reduzida exactidão Global (0,72) e índice Kappa (0,63), facto que se verifica também com a classificação efectuada em *eCognition*.

VI. 3. Resultados Finais

Os principais objectivos desta investigação residem, essencialmente, na aplicação da metodologia *GEOBIA* para a classificação das imagens de satélite multitemporal intra-anual. Para atingir esse objecto, foi necessário levar em consideração as lacunas apresentadas pela metodologia clássica (*pixel a pixel*) no domínio da classificação de imagens em Detecção Remota.

Neste contexto, entendemos que, não faz sentido utilizar apenas a informação espectral dos objectos, mas também, incluir as informações contextuais dos mesmos. Neste contexto, os avanços que têm vindo a ser registados com *software eCognition*, permitiram trabalhar não apenas com a informação espectral dos objectos, mas também com a informação contextual dos mesmos.

Posto isto, visto que, este estudo é centrado na classificação multitemporal de imagens *Sentinel-2* com base no objecto, entendemos importante partir das respectivas questões que serviram de base para a nossa investigação, prendendo-se sobretudo, com os critérios a utilizar para a diminuição dos limites das fronteiras entre objectos e até que ponto um objecto na imagem é representativo de um objecto no espaço geográfico.

As dúvidas por detrás das questões de partida resultaram essencialmente dos critérios a utilizar na classificação do uso e ocupação do solo baseado no objecto e traduzido na delimitação dos objectos, com o intuito de criar entidades/objectos representativos de um dado fenómeno na realidade.

Relativamente aos resultados finais, as imagens que de seguida se apresentam, representam os resultados das classificações efectuadas para o município de Almada em quatro momentos temporais .

Embora tenha sido efectuada uma análise intra-anual, ainda assim, foi possível constatar uma ligeira diferença entre os diferentes períodos, com base na metodologia de classificação (*GEOBIA*) aplicada. Aqui, importa referir que, estes resultados são perfeitamente legítimos, se analisados com base nas condições não só de iluminação, característica de cada período em análise (o que condiciona o comportamento das respostas espectrais dos fenómenos em estudo), no tipo de algoritmo utilizado para a classificação das imagens como também na concordância obtida através da validação das classificações.

De uma forma geral, a técnica de classificação de imagem baseada no objecto (*GEOBIA*) aqui utilizada, tem por objectivo inferir as características dos fenómenos, baseando-se não apenas nas respostas espectrais, levando também em consideração os aspectos contextuais (características como forma, suavidade, fronteira entre objectos etc).

Posto isto, os resultados apresentados na figura 39, indicam que, apesar das diferenças verificadas nos períodos analisados, sobretudo, nas classes que representam a vegetação (Áreas Agrícolas Heterogéneas, Floresta e Espaços Verdes Urbanos), a classificação de imagens com base na metodologia *GEOBIA*, constitui um método eficaz e bastante promissor no que concerne à análise multitemporal de média resolução espacial, como é o caso de imagens *Sentinel*.

Passando agora à análise dos resultados da classificação submetida a validação, importa, no entanto, sublinhar que apesar dos resultados alcançados, ainda assim, é importante levar em consideração aspectos relacionados com a delimitação de fronteiras entre objectos distintos.

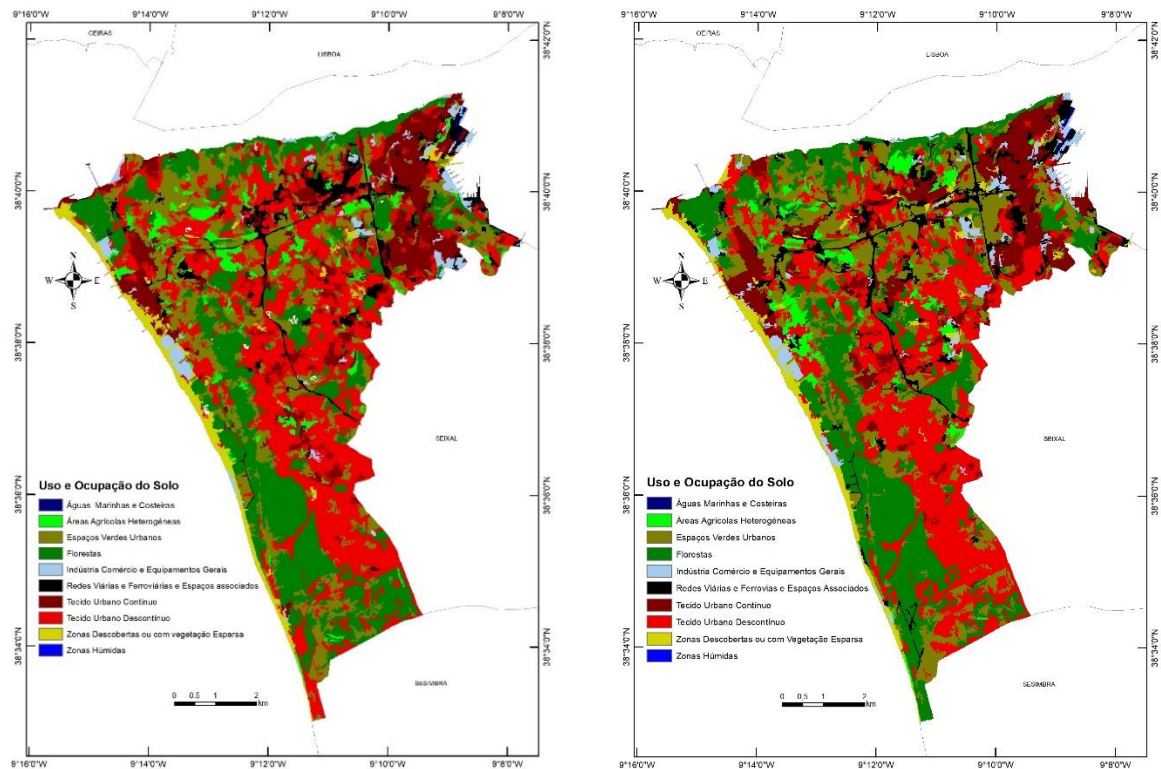
Como anteriormente referido, para demonstrar as potencialidades da metodologia *GEOBIA*, seleccionou-se um conjunto de classes (ver quadro 40) baseadas na Carta de Ocupação do Solo (COS). A selecção destas classes foi fundamental para o teste da metodologia *GEOBIA*. Posteriormente a selecção das classes, para demonstrar as potencialidades da metodologia em estudo, analisou-se quatro períodos temporais, que nos permitiu testar o desempenho da mesma.

Face aos resultados alcançados, foi possível concluir que a melhor classificação alcançada foi obtida sobretudo, com o mês de Julho, embora, por diferenças mínimas em relação ao Março. Na verdade, esta conclusão era expectável, no sentido em que os dois meses, correspondem, aos períodos com maior actividade clorofilina do coberto vegetal, maior resposta espectral dos objectos presentes na área de estudo.

Aqui, sublinha-se que a classificação do solo apresentada, embora apresente resultados excelentes em termos de exactidão temática, ainda assim, é necessário levar em consideração que a abordagem apresentada carece de uma maior profundidade em termos de definição do conceito objecto e da delimitação de fronteiras entre objectos.

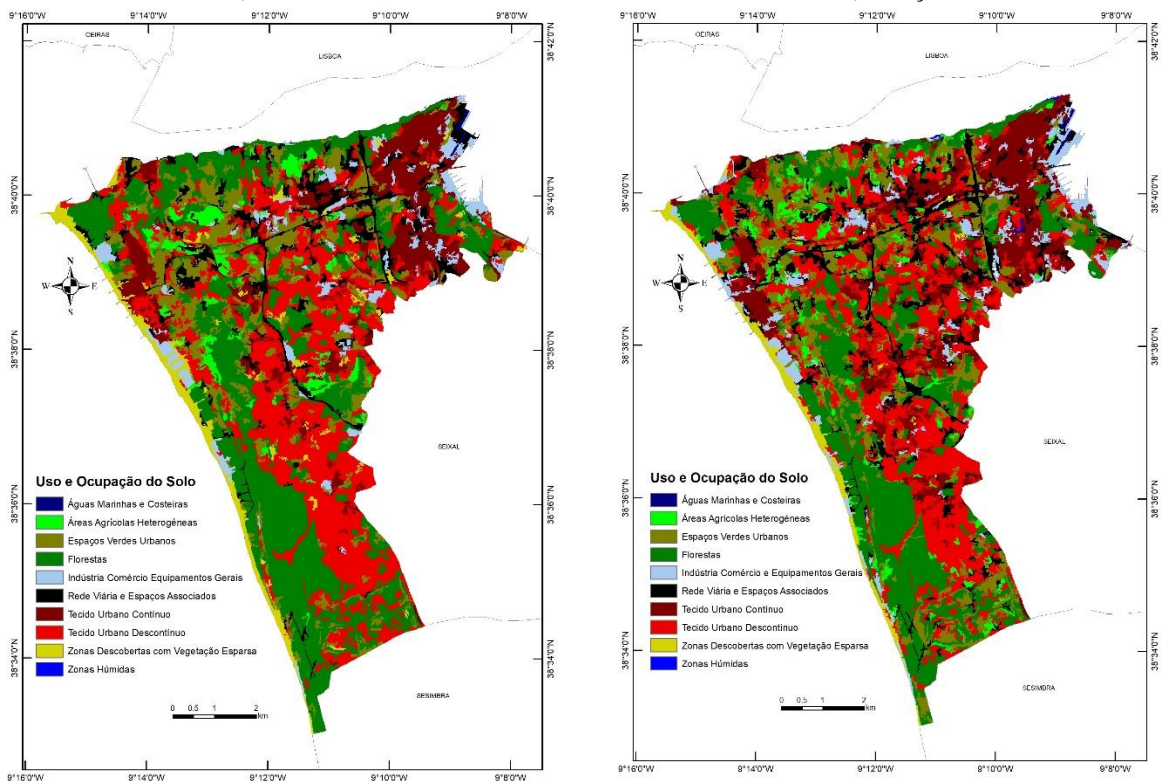
Outro aspecto a destacar em relação à metodologia apresentada, está intimamente ligada a resolução da imagem utilizada, isto porque, uma imagem de baixa ou média resolução, sobretudo, a de baixa resolução, apresenta uma elevada mistura espectral entre as classes.

Figura 39: Resultados das Classificações Finais.



a) Janeiro

b) Março



c) Julho

d) Outubro

Partindo deste facto, podemos concluir que na classificação de imagem baseada em objecto (*GEOBIA*), a escala ganha particular importância, representando deste modo um factor de grande relevância no que toca a delimitação dos objectos em estudo.

Com base na análise dos resultados, verificou-se uma mistura entre as classes, essencialmente as Áreas Agrícolas Heterogéneas com a Floresta, o que se deve essencialmente, as características de ambas em termos de comportamentos espectrais, que é bastante semelhante em certas áreas, facto que condiciona os resultados obtidos com a classificação.

Por sua vez a confusão entre Tecido Urbano Contínuo e Descontínuo e a Indústria, resulta das características de *pixels*, o que dificulta em certa medida a classificação da indústria em algumas áreas da imagem, devido as semelhanças no comportamento de certas coberturas, o que numa imagem de média resolução, como é disso exemplo, imagens *Sentinel*.

A confusão verificada entre as classes atrás referidas, prende-se em grande medida com a pureza dos *pixels* representativos das classes extraídas, das condições de iluminação e comportamento espectral das classes.

Ainda que, o ritmo de mudança entre as classes de uso e ocupação do solo seja relativamente baixa ou mesmo nula quando analisadas num único período (anualmente), ainda assim, é possível registar alterações ao nível do comportamento das classes.

Os resultados das classificações, permitiram concluir que, os espaços urbanos são difíceis de classificar, devido a confusão espectral das classes, contudo, este estudo demonstra que a classificação de uso e ocupação do solo em áreas urbanas com base no objecto, é uma metodologia robusta e que consegue melhores resultados que a metodologia clássica.

De uma forma geral, pode-se dizer que a passagem de uma metodologia baseada nos comportamentos espectrais (*pixel a pixel*) para uma análise baseada em objecto (*GEOBIA*), permite uma melhor delimitação das classes de uso e ocupação do solo, dado que, permite incluir outras características essenciais para a classificação das classes, nomeadamente, a forma, contexto, textura, cor etc.

Atendendo aos resultados obtidos, é possível destacar o facto da estrutura de uso e ocupação do solo na área em análise ser bastante desigual, com uma distribuição das

classes de forma heterogénea, o que acaba por ser vantagem, no sentido em que possibilita desafios acrescidos no que toca a classificação multitemporal.

De ponto de vista da fragmentação das classes, os meses de Janeiro e Outubro, apresentam-se com uma elevada fragmentação entre as classes, o que demonstra dois aspectos fundamentais:

- i) Uma mistura entre os objectos vizinhos, traduzindo-se depois nos resultados finais da classificação;
- ii) Uma má delimitação dos segmentos que serviram de base para a classificação dos objectos.

De facto, apesar de ter demonstrado as suas potencialidades no que concerne a classificação multitemporal, a metodologia *GEOBIA* ainda carece de alguns problemas relacionadas sobretudo coma delimitação de polígonos representativos de uma dada classe sem, no entanto, afectar as fronteiras de um objecto vizinho.

VI. 4. Crítica dos Resultados

Uma vez finalizada a fase de experimentação da metodologia de classificação de uso e ocupação do solo com base no objecto, a tarefa que agora se desenvolve, centra-se na crítica dos resultados alcançados na fase de experimentação.

A abordagem aos resultados obtidos através da classificação de imagens baseada em *GEOBIA* possibilitou uma melhor interpretação dos desempenhos desta metodologia aplicada à classificação do uso e ocupação do solo. Na verdade, ao contrário da metodologia clássica (que apenas considera as propriedades espectrais dos objectos, não representando de todo o objecto na totalidade, focando-se sobretudo nos valores dos *pixels* que compõem esse objecto), a *GEOBIA* permite considerar não apenas as respostas espectrais dos fenómenos, mas também as dimensões contextuais, texturais, cor, forma, compactidade, suavidade, etc.

Uma das particularidades desta metodologia consiste na partição de imagem em objectos com características significativas e representativas de fenómenos capazes de possibilitar uma melhor decisão com base nas características dos objectos extraídos.

Aqui, sublinha-se que, o desenvolvimento de *softwares* e algoritmos capazes de permitir uma melhor delimitação dos objectos presentes na imagem, aproximando-os

cada vez mais ao significado real no espaço geográfico multidimensional. Contudo, embora as imagens *Sentinel-2* (imagens de média resolução espacial) não serem de alta resolução tais como os sensores *WorldView-2*, *SPOT* etc., ainda assim, constituem uma ferramenta essencial para a construção e análise de objectos a superfície terrestre, contribuindo assim para um novo paradigma no domínio de Detecção Remota passiva.

Um dos objectivos fundamentais da metodologia *GEOBIA* consiste fundamentalmente na construção de objectos próximos da realidade, aproximando-se desta forma a cognição humana, no que se refere a delimitação de objectos.

Neste contexto, importa sublinhar que, a linha orientadora deste estudo partiu das questões de base, em torno da não eficácia da metodologia *pixel a pixel* em responder às novas exigências em matéria de classificação dos dados, tendo este facto residido em duas questões fundamentais:

- i) Que critérios devem ser levados em consideração no que respeita a determinação das fronteiras entre objectos?
- ii) Até que ponto um objecto na imagem (objecto imagem) é representativo de um objecto no espaço geográfico (objecto geográfico)?

As duas questões atrás apresentadas pretendem contribuir de forma a responder à questão levantada por Blaschke e Strobl, que se prende com o seguinte, “por que razão estamos tão focados nas estatísticas das imagens e nos padrões espaciais que estes criam?” (Lang. e Blaschke, 2008).

De facto, uma das questões que se levantou com a nova metodologia reside, sobretudo, na ineficiência do método *pixel a pixel*, isto porque, se numa imagem de satélite é possível identificar diferentes características dos objectos nela contidos, por que razão, se continua a trabalhar apenas com as respostas espectrais e não com os limites/fronteiras dos objectos. O advento da metodologia *GEOBIA* permitiu outras formas de análise de imagens de Detecção Remota, centrando-se na partição dos fenómenos em objectos representativos da realidade.

Neste sentido, o presente estudo, centrou-se nos objectivos dessa metodologia, aplicando-a a imagens de média resolução espacial (*Sentinel-2*) em ambiente urbano, com dados multitemporal intra-anual, contribuindo desta forma para a produção de uma metodologia útil a produção de cartografia de uso e ocupação do solo em ambiente urbano.

Visto que, actualmente, discute-se sobretudo, a unidade mínima de análise e uma vez que, sendo o objecto a unidade mínima de análise quando se tratando da metodologia *GEOBIA*, uma das técnicas fundamental desta, reside na segmentação de imagens em objectos com resultados representativos dos observados por via de análise visual de imagem.

Aqui, e como crítica a metodologia de base, fica por definir a noção de fronteira entre objectos, de modo que, é ainda necessária uma análise mais aprofundada do conceito objecto e contexto espacial (o que acarreta da “criação” de um identificador capaz de permitir uma identificação de diferentes tipos de objectos geográficos, de forma a auxiliar o processo de delimitação de objectos imagem representativos de objectos geográficos), o que permitiria uma maior e mais fácil determinação de nomenclaturas de uso e ocupação do solo.

Assim, importa sublinhar que, esta insuficiência na definição dos limites, pode ser uma combinação de três hipóteses, o método que resultou dos critérios utilizados, ponderações desajustadas dos parâmetros dos algoritmos que não terão sido os melhores para a identificação dos limites dos objectos, ou ainda, dos pixels de entrada com má resolução.

Aqui, torna-se evidente a necessidade de uma definição do conceito objecto e levantam-se questões relacionadas com os parâmetros a indicar na delimitação desses mesmos objectos; o peso a atribuir a cada parâmetro do algoritmo utilizado; as características dos dados a utilizar de forma a alcançar uma maior eficácia na delimitação dos contornos dos objectos; as características da área de teste etc.

Assim, na sequência do trabalho desenvolvido, entendemos que, seria interessante, num trabalho futuro, centrar-se não apenas no conceito *GEOBIA*, mas na relação entre objectos e na definição do conceito objecto imagem e objecto geográfico, e os limites dos mesmos na delimitação dos fenómenos a estudar.

Outro entrave verificado no seguimento deste estudo, resulta, sobretudo, da falta de trabalhos que comparem as duas metodologias (*pixel a pixel* e *GEOBIA*) e, sobretudo, estudos multitemporais e intra-anuais para a área de estudo (Município de Almada).

Ainda, no que respeita ao algoritmo utilizado (*multiresolution segmentation*), é de referir que, poderá assinalar melhorias no que concerne a eficácia na extracção de

segmentos, no tempo consumido no processo de delimitação dos objectos com contornos representativos através de objecto imagem para objecto geográfico.

Relativamente a actualização de informações, sublinha-se que, embora não se verifique um considerado número de publicações relacionadas com estudos multitemporais e intra-anuais em particular, entendemos ser de grande interesse a exploração de classificações multitemporais em ambientes urbanos e com dados de média resolução espacial.

De facto, um incremento de estudos desta “natureza” poderia contribuir de forma positiva para uma rápida actualização da cartografia e consequentemente uma rápida e consciente tomada de decisões acerca de uma determinada região em estudo.

Relativamente ao resultado final, salienta-se que nem todas as classes foram representadas, facto que se justifica com a nomenclatura de referência adoptada para este estudo. Assim, as classes não representadas nos resultados finais da classificação foram, zonas húmidas e Águas Marinhas e Costeiras. Foi compreensível da nossa parte, dado que, com base na nomenclatura de referência, as duas classes não apresentavam uma dimensão aceitável.

Na verdade, a unidade mínima ou área mínima de análise, de forma a delimitar uma classe, corresponde a 1 ha, com distâncias entre linhas igual ou superior a 20 metros, em que a percentagem de uma dada classe de uso e ocupação do solo, deve ser igual ou superior a 75% da área do polígono em que a classe se encontre inserida, característica essa não apresentada pelas duas classes.

No entanto, embora cientes das particularidades da nomenclatura adoptada, ainda assim, optou-se por utilizá-la, para a construção da legenda de uso e ocupação do solo apresentada neste estudo.

No que concerne à parte prática do presente estudo, embora cientes da necessidade da classificação de um maior número de classes de uso e ocupação do solo, levou-se em consideração as características da área de estudo e dos objectivos do estudo.

.

Embora a parametrização do algoritmo a utilizar dependa em grande medida do objectivo pretendido, importa sublinhar que, outro aspecto importante e que mereceu a nossa particular atenção prende-se com os parâmetros de classificação da segmentação multiresolução e as respectivas importâncias a atribuir a cada um.

Deste modo, torna-se essencial levar em consideração o peso a atribuir a cada parâmetro, de forma a manter as características dos objectos sem, no entanto, alterar os aspectos (*shape, color, compactness, smoothness*) do mesmo.

Quanto a transferibilidade dos resultados, importa referir que, embora o método utilizado tenha permitido um resultado satisfatório, ainda assim é importante sublinhar que, tal processo necessita de maior aprofundamento, sobretudo, no que respeita a utilização de diferentes dados, de forma a criar uma metodologia capaz de ser replicada independentemente do tipo de dado. Posto isto, importa ainda referir que, como tema para uma análise futura seria importante o desenvolvimento de um estudo centrado na análise comparativa, que levasse em consideração os métodos clássicos (*pixel a pixel*) com os mais recentes (*GEOBIA*).

De uma forma geral, os resultados obtidos foram satisfatórios, embora, cientes das limitações resultantes de uma análise de precisão baseada na análise visual das classificações efectuadas (análise qualitativa). Deste modo, é importante sublinhar que tais limitações foram confrontadas com uma análise quantitativa dos resultados, levando em consideração não apenas uma *Error Matrix Based on Samples* (Matriz de Confusão), como também uma confrontação dos resultados com a verdade no terreno (*Ground Truth*), com o intuito de minimizar as incertezas resultantes de uma análise qualitativa dos resultados.

Neste sentido, entendemos que a análise qualitativa como factor de extrapolação dos resultados carece de uma quantificação num trabalho futuro, isto porque, a quantificação da mesma, permitirá minimizar a redundância dos resultados das classificações efectuadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma forma geral, do ponto de vista prático, entendemos que a abordagem de classificação baseada no objecto (*GEOBIA*) permite, a obtenção de resultados satisfatórios, permitindo ainda conhecer e classificar as características dos objectos, sobretudo, relacionados com as propriedades dos mesmos (*shape, compactness, smoothness, color, etc.*), tarefa que a classificação baseada no *pixel* não efectua. Desta forma, com base nos resultados obtidos, sublinha-se que a metodologia utilizada “respondeu” com eficácia aos objectivos deste estudo, que consistia em classificar imagens multitemporais intra-anuais com base não apenas nas suas características espectrais, mas, sobretudo nas suas propriedades significativas (*shape, color, compactness, smoothness*).

A classificação do uso e ocupação do solo com base na metodologia *GEOBIA* tem vindo a “ganhar espaço” face à metodologia *pixel a pixel*. Assim sendo, neste estudo, foi apresentada a metodologia de classificação do uso e ocupação do solo baseada em objecto, através de uma análise exploratória da mesma em dados *Sentinel-2*, multitemporais e intra-anuais para o município de Almada.

O pressuposto inicial deste estudo partiu da delimitação do objecto como unidade mínima de análise, caracterizando-o através da aglomeração de *pixels* da imagem, com base num determinado conjunto de parâmetros considerados em simultâneo.

Com este estudo, foi explorado o potencial da segmentação multiresolução (*multiresolution segmentation*) no que concerne a partição de imagens em várias escalas de análise, com base nas características dos objectos (*shape, color, compactness, smoothness* etc), não se limitando apenas as características espectrais dos mesmos. De uma forma geral, a análise efectuada neste estudo, centrou-se não apenas na “quantificação” das propriedades dos parâmetros da metodologia *GEOBIA*, nos processos de classificação baseada em objecto, como também na aplicação de um mesmo protocolo na classificação multitemporal intra-anual.

Com a conclusão deste estudo, importa referir que, de ponto de vista operacional, o advento do *software eCognition*, possibilitou um aprofundamento desta nova metodologia face ao método clássico, permitindo uma análise dos atributos dos fenómenos, através de um conjunto de propriedades levadas em consideração numa lógica hierárquica multidimensional.

Como anteriormente referido, este estudo centrou-se numa análise exploratória da metodologia *GEOBIA* em dados *Seninel-2* (multitemporal e intra-anual). O estudo permitiu concluir três ideias essenciais:

- i. Em termos de representatividade espacial, a metodologia *GEOBIA* permite caracterizar melhor um objecto, sobretudo, no que se refere às propriedades espaciais e contextuais;
- ii. Com o desenvolvimento desta nova metodologia, verificou-se uma enorme carência no que se refere a definição dos limites entre diferentes objectos/classes, o que implicará num trabalho futuro, a aposta na definição de fronteiras entre os objectos, facto que poderá facilitar a semântica dos objectos. Embora, a definição de fronteiras entre objectos seja melhor conseguida com a metodologia *GEOBIA*;
- iii. Com esta metodologia, o objecto é tido como a unidade mínima de análise, o que consequentemente, afecta o grau de abstracção das classes, ou seja, a escala de análise e percepção dos objectos numa imagem altera-se de acordo com a modificação do parâmetro escala, o que consequentemente tem uma implicação directa no significado do objecto extraído.

De facto, com este estudo, verificou-se uma considerável melhoria nos processos de análise espacial, classificação e extracção de objectos de interesse.

Na verdade, tal melhoria, foi em parte conseguida com enormes avanços na algoritmia, cognição espacial e, sobretudo, pelos avanços alcançados com o *software eCognition*, que vem permitindo novas soluções. Sem dúvida que é o advento e impulso proporcionado pela melhoria dos algoritmos e parâmetros de classificação deste *software*, o grande estímulo para o desenvolvimento da metodologia *GEOBIA*.

A técnica *Multiresolution Segmentation* constitui um novo paradigma no que concerne a segmentação e classificação de imagens, visto que, permite uma “análise mais objectiva”, minimizando a redundância, dado que, engloba mais parâmetros em relação a metodologia *pixel a pixel*.

Aqui, importa destacar o trabalho apresentado por Baatz e Schäpe, 2000, no qual defendem *GEOBIA* como, “uma técnica de união de diferentes regiões e que começa com um *pixel* individual, sendo que através deste, vai formando conjuntos de *pixels*, que a um dado momento formam um objecto ou região.

Na verdade, em cada etapa desta técnica, o processo base, consiste essencialmente na união de mais *pixels*/região em regiões cada vez maior, sendo que esta é baseada em critérios de homogeneidade que descreve uma certa verosimilhança entre objectos adjacentes (através de relações contextuais).

Aqui, importa sublinhar que, é inegável que a visibilidade apresentada pela metodologia *GEOBIA* em contexto de Detecção Remota resulta de uma rápida expansão das imagens de alta resolução espacial associadas a significativas melhorias registadas em cognição espacial, algoritmos de segmentação multi-escala e sucessivas actualizações do *software eCognition* (ferramenta fundamental para a classificação baseada no objecto).

Em contexto académico, tem-se debatido bastante acerca das potencialidades da metodologia *GEOBIA* e do *software eCognition*, sobretudo, em matéria de segmentação de imagens em múltipla escala e da “replicação” dos processos num outro processo de um outro determinado estudo.

De facto, no que respeita a “replicabilidade” dos processos relacionados com a parametrização dos processos de segmentação e classificação das imagens, o *software eCognition* e a metodologia *GEOBIA*, já provaram ser possível aplicar os parâmetros a diferentes estudos. Contudo, um dos problemas a solucionar prende-se com os factores externos, nomeadamente o período das imagens, as condições de iluminação, os erros associados (radiométricos e geométricos) etc.

Ora, é nesta linha de investigação que o presente estudo encontra o seu ponto de partida, pretendendo no essencial, contribuir para uma classificação de imagens multitemporal intra-anual, utilizando para tal o mesmo protocolo em diferentes datas.

De facto, com a discussão em torno da replicabilidade dos parâmetros de classificação, o presente estudo, veio contribuir em certa medida para, sustentar a tese de que com a metodologia *GEOBIA* aplicada ao *software eCognition*, é possível adoptar o mesmo método de segmentação e classificação de imagens em diferentes datas.

Assim, foi possível concluir que a abordagem *GEOBIA* associada ao *software eCognition*, permite alcançar resultados com uma elevada concordância em dados de diferentes datas embora, referentes a uma mesma área de estudo.

Relativamente as discrepâncias importa sublinhar que, as verificadas nos resultados finais eram expectáveis, devendo-se essencialmente as condições de iluminação, o comportamento do coberto vegetal na área em estudo entre outros factores.

Contudo, apesar das melhorias verificadas em matéria de segmentação multi-escala, cognição espacial e também as sucessivas adaptações do *software* aos novos desafios, ainda assim, não se atingiu uma metodologia que seja replicável na totalidade, uma vez que as operações de parametrização dos processos dependem ainda em grande medida das decisões do operador.

Embora já se tenha alcançado um avanço considerável no desenvolvimento de métodos/parametrizações que sejam passíveis de serem “replicáveis”, ainda, há muito a fazer no sentido de ultrapassar os entraves existentes no que concerne ao desenvolvimento de uma metodologia padrão que possa ser adaptada em diferentes datas, sem que seja necessário modificar a parametrização dos processos de segmentação.

Aqui, resta fazer uma referência ao factor escala no domínio de extracção de informação de uso e ocupação do solo. No caso concreto deste estudo, a interpretação geográfica de uso e ocupação do solo, evidenciou-se uma certa dependência quanto ao factor escala, quer nas etapas dos procedimentos práticos referentes a definição dos limites espaciais (fronteiras), quer também na validação dos resultados da classificação com a metodologia COS.

Na verdade, os procedimentos práticos inerentes à *GEOBIA* são dependentes da escala como é caso disso a aplicação do método *multiresolution segmentation* e a conversão de imagens Raster/Vectorial ou o inverso.

Aqui, importa sublinhar que, a classificação de imagem baseada em objecto demonstrou uma grande eficácia em matéria de extracção de informação, sem esquecer a capacidade da mesma em integrar e validar a informação dos resultados da classificação, com os dados já existentes através da aplicação de uma nomenclatura de referência, como é o caso disso, a COS.

De facto, este procedimento permitiu aproximar as fronteiras (limites) dos objectos extraídos por via de classificação baseada em *GEOBIA*, através do *software*

eCognition, com os limites das classes apresentadas pela Carta de Ocupação do Solo, fazendo deste modo que a classificação efectuada leve em consideração os limites da cartografia COS como referência nos processos de validação dos resultados obtidos por via da segmentação multiresolução e classificação baseada na metodologia *GEOBIA*.

Por fim, importa referir que, no domínio da Geografia em geral e Detecção Remota em particular, a metodologia *GEOBIA*, ajustada a uma temática a partir da qual se pretenda alcançar um novo significado entre diversas entidades extraídas por via de classificação baseada em objecto, encontra, aqui, um campo para evoluir e contribuir de forma significativa para a produção do conhecimento útil a Ordenamento do Território.

BIBLIOGRAFIA

- Addink, E. A., Van Coillie, F. M. B., & de Jong, S. M. (2012). Introduction to the GEOBIA 2010 special issue: From pixels to geographic objects in remote sensing image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 15(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.001>
- Aschbacher, J., & Milagro-Pérez, M. P. (2012). The European Earth monitoring (GMES) programme: Status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 120(2012), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.028>
- Baatz, M. (1999). *Topic : New Methodologies Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks*. 16–20.
- Baatz, M., & Schäpe, A. (2000). Multiresolution Segmentation - an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge Zum AGIT-Symposium.*, 12–23.
- Baker, B. A., Warner, T. A., Conley, J. F., & McNeil, B. E. (2013). Does spatial resolution matter? A multi-scale comparison of object-based and pixel-based methods for detecting change associated with gas well drilling operations. *International Journal of Remote Sensing*, 34(5), 1633–1651. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.724540>
- Bakker, Wim, H; Gieske, Ambro, S. M; Gorte, Bem, G. H. (2001). Principles of Remote Sensing. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)*, (2007), 540.
- Ben-Dor, Eyal; Epema, G. F. I. (1999). *Soil Reflectance* (R. S. for the earth sciences: M. of R. S. Vol. 3, Ed.). New York: Wiley.
- Berger, M., Moreno, J., Johannessen, J. A., Levelt, P. F., & Hanssen, R. F. (2012). ESA's sentinel missions in support of Earth system science. *Remote Sensing of Environment*, 120, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.023>
- Blanc, F. (2006). A remote sensing ocean portal for GMES ocean. *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*, 8778(614). <https://doi.org/10.1080/1755876X.2008.11020100>
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Blaschke, T. L. stefan. (2008). *Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*.
- Blaschke, Thomas, Lang, S., & Eds, G. J. H. (2008). *Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Retrieved from https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=5ktbsV-aSBAC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Object-Based+Image+Analysis+Spatial+Concepts+for+Knowledge-Driven+Remote+Sensing+Applications&ots=br7t6mCFsZ&sig=AU487lD61ZJcnewoHR605S6JsL4&redir_esc=y#v=onepage&q=Object-Based
- Caetano, M., Crisógono, P., Santos, J., Barbeiro, A., Silva, M., Patrício, P., ... Silva, M.

- (2015). *IPSentinel: Desenvolvimento de uma plataforma colaborativa para a disseminação de informação geoespacial em Portugal*. 1–8.
- Casimiro, P. J. C. C. (2002). *Uso do solo, teledetecção e estrutura da paisagem. Ensaio metodológico-Concelho de Mértola*. 1–585. Retrieved from <http://www.fcsh.unl.pt/docentes/pcasimiro/PDF/Tese.pdf%5Cnhttp://run.unl.pt/handle/10362/5338>
- Castellano, G. C. (2003). Object-Oriented Analysis of Remote Sensing Images for Land Cover Mapping : Conceptual Foundations a Baseline Partition for Classification 1. *Doctoral Thesis*, 228. Retrieved from http://oa.upm.es/133/1/07200302_castilla_castellano.pdf
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos De Teledeteccion Espacial* (p. 449). p. 449. <https://doi.org/23.304-1995>
- Communications, E. (2012). Sentinel-2 ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environme*.
- Congalton, G. Russell; Oderwarld, G. Richard; Mead, A. R. (1983). *Assessing Landsat Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Analysis Statistical Techniques*. 49(12), 1671–1678.
- Copernicus, S. F. O. R. (2015). Sentinels. [Www.Esa.Int/ESA](http://www.esa.int/ESA).
- Craglia, Massimo; Couclelis, H. (1997). *Geographic Information Research. Bridging the Atlantic* (1^o Edition; T. & Francis, Ed.). Retrieved from https://www.amazon.com/Geographic-Information-Research-Bridging-Atlantic/dp/0748405941/ref=sr_1_1?dchild=1&keywords=9780748405947&linkCode=qs&qid=1596694571&s=books&sr=1-1
- Curran, J. P. (1985). *Principles of Remote Sensing* (I. John Wiley & Sons, Ed.). 605 Third Avenue, New York: Longman Inc.
- DGT. (2018a). *Especificações Técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015*. Retrieved from http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/carta_de_ocupacao_do_solo__cos_/cos__2007/ (último acesso em Fevereiro de 2015)
- DGT. (2018b). *Especificações Técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015*. 103. Retrieved from <http://mapas.dgterritorio.pt/atom-dgt/pdf-cous/COS2015/ET-COS-1995-2007-2010-2015.pdf>
- Donnay, Jean-Paul; Barnsley, M. J. L. P. A. (2001). *Sensing, Remote Analysis, Urban* (Taylor & F; M. J. L. P. A. Donnay, Jean-Paul; Barnsley, Ed.). Taylor & Francis.
- Drăguț, L., Csillik, O., Eisank, C., & Tiede, D. (2014). Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 88, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.11.018>
- Dronova, I. (2015). Object-based image analysis in wetland research: A review. *Remote*

- Sensing*, 7(5), 6380–6413. <https://doi.org/10.3390/rs70506380>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- EEA. (1994). CORINE land cover - contents. *CORINE Land Cover*, 1–163. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02187.x>
- Encarnação, S. (2004). *Análise de Imagem Orientada a Objecto. abordagem conceptual e experimentação a partir de imagens QuickBird*.
- ESA Sentinel-2 Team. (2010). GMES Sentinel-2 : mission requirements document. *Earth*, 38.
- Fletcher K. (2012). *Sentinel-2 eSA's Optical High-Resolution Mission for GMeS Operational Services*. Retrieved from https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf
- Fonseca, Ana; Fernandes, J. C. (2004). *Detecção Remota* (1ª Edição; Lidel, Ed.). Retrieved from <https://www.amazon.com.br/Detecção-Remota-Ana-Duarte-Fonseca/dp/9727572928>
- Gascon, F., Thépaut, O., Jung, M., Francesconi, B., Louis, J., Lonjou, V., ... Fernandez, V. (2017). Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status. *Remote Sensing*, 8, 1–78. <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS201610.0078.V1>
- Gleiser, M. (2010). *Criação Imperfeita*. Retrieved from <https://www.estantevirtual.com.br/letraviva/marcelo-gleiser-criacao-imperfeita-2357409694>
- Gu, H. Y., Li, H. T., Yan, L., & Lu, X. J. (2015). A framework for Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) based on geographic ontology. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(7W4), 27–33. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W4-27-2015>
- Gupta, R. P. (2003). *Remote Sensing Geology* (2º Edition). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-05283-9_14
- Handbook, U. (2015). Sentinel-2 User Handbook. *ESA Standard Document Date*, (1), 1–64. <https://doi.org/GMES-S1OP-EOPG-TN-13-0001>
- Haralick, R. M. (1985). *image_segmentation_survey_faugeras.pdf*.
- Hay, G. J., Castilla, G., Vi, C., & Vi, W. G. (2006). Object-Based Image Analysis : Strengths , Weaknesses , Opportunities and Threats (Swot). *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/4-c42/Papers/OBIA2006_Hay_Castilla.pdf
- James B, R. H. Ca., & Wynne. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (Fifth Edit). The Guilford Press, Inc. New York. London.

- Kaku, M. (2014). *O Futuro da Mente* (Bizâncio,). Retrieved from <https://www.wook.pt/livro/o-futuro-da-mente-michio-kaku/15715397>
- Kavzoglu, T., & Yildiz, M. (2014). Parameter-Based Performance Analysis of Object-Based Image Analysis Using Aerial and Quikbird-2 Images. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-7(October), 31–37. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-7-31-2014>
- Kiefer, T. M. L. & R. W. (1979). *Remote Sensing and Image Interpretation* (illustrate). New York: John Wiley, 1979.
- Kuhn, T. (1962). KUHN, Thomas. Estrutura das revoluções científicas.pdf. *Estrutura Das Revoluções Científicas*, pp. 9–66.
- Kumar, D. (2015). Remote Sensing Based Vegetation Indices Analysis to Improve Water Resources Management in Urban Environment. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 1374–1380. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.178>
- Lefebvre, A., Sannier, C., & Corpetti, T. (2016). Monitoring Urban Areas with Sentinel-2A Data: Application to the Update of the Copernicus High Resolution Layer Imperviousness Degree. *Remote Sensing*, 8(7), 606. <https://doi.org/10.3390/rs8070606>
- Lillesand, Thomas M; Kiefer, Ralph W; Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7^o Edition). Retrieved from <https://www.amazon.com/Remote-Sensing-Image-Interpretation-7th-ebook/dp/B00UGE1QTE>
- Lo, C. . (1986). Applied Remote Sensing. *Longman Scientific & Technical. United States of America. Longman INC. New York.*
- M, D. G. A. J. L. J. (2000). *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and user Manual* (1^o Edition; R. : F. and A. O. of the U. F. Nations, Ed.). Rome.
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., & Liu, Y. (2017). A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 277–293. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001>
- Marpu, P. R., Niemeyer, I., Nussbaum, S., & Gloaguen, R. (2008). A procedure for automatic object-based classification. In T. B. L. J. Hay (Ed.), *Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications* (1^o Edition, p. 817). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9>
- Matos, J. (2008). *Fundamentos da Informação Geográfica* (2^a Edição; LIDEL, Ed.).
- Meneses, P. R., & Almeida, T. (2012). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. 266.
- Mueller, U Wilm; Devignot, O; Pessiot, L. (2018). *Sen2Cor Configuration and User Manual*. 56.
- Opitz, D; Blundell, S. (2008). Object recognition and image segmentation: the Feature Analyst approach. In G. J. Blaschke, T., Lang, S., Hay (Ed.), *Object-Based Image*

- Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications* (1^o Edition, p. 817). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9>
- Radoux, J., Chomé, G., Jacques, D. C., Waldner, F., Bellemans, N., Matton, N., ... Defourny, P. (2016). Sentinel-2's potential for sub-pixel landscape feature detection. *Remote Sensing*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/rs8060488>
- Rebelo, C. (2016). *3D Point Clouds in Urban Planning : Developing and Releasing high-end Methodologies based on LiDAR and UAV data for the Extraction of Building Parameters*. Universidade Nova de Lisboa.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis* (4th ed.). <https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
- ROBIN, M. (2002). *Télédetetion – Des Satelites aux. Sig* (2^o Edition). Retrieved from <https://www.abebooks.com/servlet/BookDetailsPL?bi=30595258463>
- Rocha, J., Tenedório, J. A., Estanqueiro, R., & Sousa, P. M. (2012). Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra*, 42(83), 47–62. <https://doi.org/10.18055/Finis1438>
- Rosina, K., Kopecká, M., Rosina, M. K., & Kopecká, R. M. (2016). MAPPING OF URBAN GREEN SPACES USING SENTINEL-2A DATA : METHODOICAL ASPECTS. In B. T. K. M. (Ed.), *6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria* (pp. 13–17). Albena, Bulgaria.
- Sabins, F. F. (2007). *Remote Sensing Principles and Interpretation* (3^o Edition). Retrieved from <https://www.amazon.com/Remote-Sensing-Interpretation-Floyd-Sabins/dp/1577665074>
- Services, C. for S. & E. (2012). *Interim Evaluation of the GMES Preparatory Action Final Report* (No. e).
- Smith, B. (2001). Fiat Objects. *Topoi*, 20(2), 131–148. <https://doi.org/10.1023/A:1017948522031>
- Smith, B., & Mark, D. (1998). Ontology With Human subjects Testing:. *American Journal of Economics and Sociology*, 58(2), 245–312. <https://doi.org/10.1111/j.1536-7150.1998.tb03471.x>
- Tenedório, José António; Pontes, Saudade; Estanqueiro, R. (1999). Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (Cartus-AML). *VIII Colóquio Ibérico de Geografia, Actas – Vol. II, GPR-FCSH, Lisboa*, 117. Retrieved from https://www.aml.pt/susProjects/susWebBackOffice/uploadFiles/wt1wwpgf_aml_sus_pt_site/componentText/SUS57ED36183CF6D/ATLAS_06.PDF
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., & Nõges, T. (2016). First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing*, 8(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/rs8080640>
- Trimble Germany GmbH, A. (2014). *Trimble eCognition System Requirements*. 30.
- van der Werff, H., & van der Meer, F. (2016). Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing. *Remote Sensing*, 8(11).

<https://doi.org/10.3390/rs8110883>

- Vogt, L., Grobe, P., Quast, B., & Bartolomaeus, T. (2012). Fiat or Bona Fide Boundary-A Matter of Granular Perspective. *PLoS ONE*, 7(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048603>
- von Schuckmann, K., Le Traon, P.-Y., Alvarez-Fanjul, E., Axell, L., Balmaseda, M., Breivik, L.-A., ... Verbrugge, N. (2016). The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report. *Journal of Operational Oceanography*, 9(sup2), s235–s320. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2016.1273446>
- Walford, N. (2002). *Geographical Data Characteristics and Sources* (1^o Edition). Retrieved from <https://www.amazon.com/Geographical-Data-Characteristics-Nigel-Walford/dp/0471970859#:~:text=Geographical Data%3A Characteristics and Sources is a unique text in,%2Fsurvey%2C and administrative%2Fstatutory>
- Wiggers, D. A. G. C. K. L., Ribeiro, S. R. A., & Universidade. (2014). Abordagens em GEOBIA e aplicação da técnica em imagem Rapideye de uma área da bacia do rio Pitangui – PR. *Anais 5^o Simpósio de Geotecnologias No Pantanal, Campo Grande, MS, 22 a 26 de Novembro 2014 Embrapa Informática Agropecuária/INPE*, 631–640. Retrieved from <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p101.pdf>
- Zonneveld, A. W. K. S. (1988). Handbook of Vegetation. In H. Lieth (Ed.), *Vegetation Mapping* (pp. 531–549). <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3083-4>

ENDEREÇOS NA INTERNET:

Copernicus Open Access Hub <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat> - (última consulta 20 de Dezembro de 2019).

ESA Copernicus. S2-PDGS-MPC-L2ADQR. *Sentinel-2 Level 2A Data Quality Report* <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home> - (última consulta, 7 de Dezembro de 2019)

ESA Sentinel Online. Thematic Areas. *Land Overview* <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/thematic-areas/land-monitoring> (última consulta 12 de Abril de 2017)

European Space Agency, Earth Online Missions *Sentinel-2* <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers> (última consulta 27 de Outubro de 2018)

<https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat> - (Consultado a 4 de Agosto de 2017).

<https://earthexplorer.usgs.gov/> - (última consulta 25 -7 - 2017)

<https://www.sentinel-hub.com/> - (última consulta 07 de Dezembro de 2019)

Science toolbox exploitation Platform (Step), Sentinel Application Platform (SNAP)
Download <http://step.esa.int/main/download/snap-download/> - (última consulta: 25 de Maio de 2018)

Step <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> - (última consulta 17 de Setembro de 2018)

Timothy A. Warner; Marguerite Madden e Douglas S. Atkinson. (2011). *Multi-scale GEOBIA with very high Spatial resolution digital Aerial imagery: scale, texture and image objects. In International Journal of Remote Sensing, volume 32, 2011 – issue 10* <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161003745608> (última consulta 24 - 10 -2019).

United Nations. GOAL 14. *Conserve and Sustainable Use the Oceans, Seas and Marine Resources for Sustainable Development* <https://oceanconference.un.org/sdg14> (última consulta 16 de Novembro de 2019).

United Nations Ocean Action. *It's Time to Save the Ocean. United Nations Ocean Action Newsletter* <https://oceanconference.un.org/OceanAction>

ANEXOS

Anexo 1:

1.1. Características dos objectos

1.	Características dos objectos: características espectrais dos <i>pixels</i> constituintes dos objectos
1.1	Forma: características de forma do objecto ou dos seus sub-objectos
1.2	Textura: é examinada tendo em consideração os sub-objectos dos objectos ou pelo cálculo da matriz de co-ocorrência dos níveis de cinzentos (GLCM), e o vector da diferença dos níveis de cinzento (GLDV) de HARALICK, calculados a partir dos <i>pixels</i> dos objectos
1.3	Hierarquia: posição do objecto em relação à hierarquia existente na imagem
1.4	Atributos temáticos: relações com objectos vizinhos, <i>sub-objectos</i> , <i>super-objectos</i> , valores de pertença, classificações, etc.

1.1.1. Características da relação entre classes

2	Características da relação entre classes: a classificação de outros objectos é tida em conta na classificação de um dado objecto.
2.1	Relações de objectos vizinhos: atributos entre objectos vizinhos, de uma dada classificação.
2.2	Relações dos sub-objectos: objectos classificados em níveis inferiores.
2.3	Relações dos super-objectos: objectos classificados em níveis superiores.
2.4	Valor da pertença: especificação de valores de pertença de outras classes, para a determinação de uma nova classe.
2.5	Classificado como: relação com a classificação de determinado objecto, sem ter em conta o seu grau de pertença a essa mesma classe.
2.6	Valor da classificação: assemelha-se ao valor de pertença, contudo, permite o uso de todos os valores de pertença e não apenas os três mais elevados.

1.1.2 Termos

3.	Termos: Componentes que permitem a construção da descrição de classes, nomeadamente a ligação entre as dimensões de caracterização do objecto.
3.1	Standard Nearest Neighbor (SNN): Aplicada o <i>SNN</i> à descrição da classe
3.2	Nearest Neighbor (NN): aplica o <i>NN</i> à descrição da classe.
3.3	Similaridade entre classes: indica que a descrição de uma classe é idêntica a uma outra.
3.4	Termos lógicos: aplica operadores de lógica para definir a forma como a descrição de classe deve ser calculada

Anexo 2:





2.1.1. Parâmetros das classes da categoria Construído (Janeiro)

Nível Classe	Subclasse	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 3	Industria comércio e equipamentos Gerais	[0.011-0.59]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 3	Rede Viária e Espaços Associados	[0.022-1.46]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 3	Tecido Urbano Contínuo	[0.029-6.11]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 3	Tecido Urbano Descontínuo	[0.77-6.89]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>







2.1.2. Parâmetros das classes da Categoria Não Construído (Janeiro)

Nível Classe	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Águas Marinhas e Costeiras	[0.74-1.140]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 2	Áreas Agrícolas Heterogénea	[0.01-2.949]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 2	Floresta	[1.009-7.899]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 2	Vegetação Arbustiva e Espaços Verdes Urbanos	[0.252-6.142]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 3	Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	[0.342-0.8242]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>
Nível 2	Zonas Húmidas	[0.423-1.572]	and (min)	Max.diff	<input type="checkbox"/>





2.1.3. Parâmetros das classes da Categoria Construído (Março)

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 3	Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	[0.234-0.7344]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Rede Viária e Espaços Associados	[0.3451-1.602]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Tecido Urbano Contínuo	[0.0112-8.799]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Tecido Urbano Descontínuo	[0.777-6.976]	and (min)	Max. diff	

2.1.4. Parâmetros das classes da Categoria Não Construído (Março)

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Águas Marinhas e Costeiras	[0.8384-1.056]	and (min)	Max. diff	
Nível 2	Áreas Agrícolas Heterogênea	[0.224-7.164]	and (min)	Max. diff	
Nível 2	Floresta	[0.0954-3.285]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Espaços Verdes Urbanos	[1.491-8.766]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	[0.2234-0.9262]	and (min)	Max. diff	
Nível 2	Zonas Húmidas	[0.7436-1.5783]	and (min)	Max. diff	

2.1.5. Parâmetros das classes da Categoria Construído (Julho)

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 3	Industria comércio e equipamentos Gerais	[0.1294-0.6337]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Rede Viária e Espaços Associados	[0.3452-1.561]	and (min)	Max. diff	
Nível 3	Tecido Urbano Contínuo	[0.2245-1.718]	and (min)	Max. diff	
Nível3	Tecido Urbano Descontínuo	[0.367-2.356]	and (min)	Max. diff	

2.1.6. Parâmetros das classes da categoria Não Construído (Julho)

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Águas Marinhas e Costeiras	[0.8457-0.9937]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Áreas Agrícolas Heterogénea	[1.029-2.420]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Floresta	[0.5132-3.928]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Vegetação Arbustiva e Espaços Verdes Urbanos	[1.161-2.871]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 3	Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	[0.4863-1.262]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Zonas Húmidas	[0.375-0.887]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>

2.1.7. Parâmetros das classes da Categoria Construído (Outubro)

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Industria comércio e equipamentos Gerais	[0.887-1.059]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Rede Viária e Espaços Associados	[0.351-1.479]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Tecido Urbano Contínuo	[0.135-1.671]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Tecido Urbano Descontínuo	[0.8775-9.178]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>

2.1.8. Parâmetros das classes da Categoria Não Construído (Outubro)

Classe Nível	Classe	Intervalo	Operador	Feature	Função
Nível 2	Águas Marinhas e Costeiras	[0.8457-0.9937]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Áreas Agrícolas Heterogénea	[1.512-2.519]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Floresta	[1.511-3.305]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 3	Espaços Verdes Urbanos	[1.627-2.735]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 3	Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	[0.4821-1.602]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>
Nível 2	Zonas Húmidas	[0.563-0.776]	and (min)	Max. diff	<input type="text"/>

Anexo 3:

3.1. Best Classification (Janeiro)

Classes	Objectos	Médias	Desvios padrão	Mínimos	Máximos
Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	423	0.932070519	0.12213105	0.118296146	1
Tecido Urbano Contínuo	625	0.990767163	0.02262426	0.668400705	1
Tecido Urbano Descontínuo	1132	0.996099266	0.006124448	0.924515069	1
Redes Viárias e Ferroviárias e Espaços associados	448	0.993902758	0.007736375	0.939589083	1
Espaços Verdes Urbanos	1025	0.996133956	0.005976132	0.914717674	1
Florestas	466	0.997728255	0.003309869	0.971698761	1
Zonas Descobertas ou com vegetação Esparsa	282	0.98097463	0.0505255	0.320958048	1
Águas Marinhas e Costeiras	3	0.999870936	0.00010189	0.999750912	1
Zonas Húmidas	23	0.980390484	0.017438644	0.937034726	1
Áreas Agrícolas Heterogéneas	376	0.992346709	0.014740874	0.850493431	1

3.2. Best classification (Março)

Classes	Objectos	Médias	Desvios Padrão	Mínimos	Máximos
Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	522	0.942879771	0.105576506	0.150455132	1
Redes Viárias e Ferrovias e Espaços Associados	567	0.994922128	0.015030615	0.666320801	1
Tecido Urbano Contínuo	610	0.993337634	0.019485414	0.591405332	1
Tecido Urbano Descontínuo	877	0.996440355	0.005881931	0.939301133	1
Águas Marinhas e Costeiras	4	0.999905601	0.000101933	0.999756813	1
Áreas Agrícolas Heterogéneas	344	0.992538231	0.015361216	0.859901607	1
Florestas	464	0.998112983	0.003955722	0.949675083	1
Espaços Verdes Urbanos	1200	0.996771015	0.005222951	0.935641825	1
Zonas Húmidas	10	0.996172082	0.004928629	0.982937992	1
Zonas Descobertas ou com Vegetação Esparsa	357	0.984668096	0.022071467	0.730030656	1

3.3. Best Classification (Julho)

Classes	Objectos	Médias	Desvios Padrão	Mínimos	Máximos
Indústria Comércio Equipamentos Gerais	609	0.963207741	0.069340664	0.33316493	1
Rede Viária e Espaços Associados	572	0.994749319	0.019499223	0.632539451	1
Tecido Urbano Contínuo	635	0.995657236	0.006383153	0.940803707	1
Tecido Urbano Descontínuo	858	0.997685071	0.002729594	0.967479408	1
Águas Marinhas e Costeiras	4	1	0	1	1
Áreas Agrícolas Heterogéneas	294	0.994112912	0.008740605	0.898055732	1
Florestas	645	0.988603482	0.061803702	0.111437045	1
Espaços Verdes Urbanos	919	0.995904377	0.005336315	0.951868355	1
Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	405	0.984157	0.042955461	0.28871572	1
Zonas Húmidas	13	0.981980374	0.010489281	0.964463472	1

3.4. Best Classification (Outubro)

Classes	Objectos	Médias	Desvios Padrão	Mínimos	Máximos
Tecido Urbano Contínuo	638	0.967100868	0.111033186	0.116270736	1
Tecido Urbano Descontínuo	886	0.992068533	0.038097882	0.196192071	1
Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	649	0.970329733	0.07176044	0.124037549	1
Rede Viária e Espaços Associados	807	0.991328738	0.01466636	0.887904108	1
Águas Marinhas e Costeiras	10	0.979655671	0.017252317	0.960384965	1
Áreas Agrícolas Heterogéneas	379	0.990008266	0.019405384	0.768781066	1
Florestas	487	0.935138175	0.134985445	0.259509116	1
Espaços Verdes Urbanos	891	0.990829377	0.010752756	0.903277636	1
Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	200	0.97711338	0.061919519	0.205188289	1
Zonas Húmidas	19	0.986806625	0.010074828	0.968175948	1

Anexo 4:

4.1. Classification Stability (Janeiro)

Classes	Objectos	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	423	0,15017366	0,25902193	1,80006E-05	0,98987776
Tecido Urbano Contínuo	625	0,00667104	0,013625887	1,01328E-05	0,116402388
Tecido Urbano Descontínuo	1132	0,00507747	0,005277497	2,02656E-06	0,046198785
Redes Viárias e Ferroviárias e Espaços associados	448	0,00489185	0,00584968	5,96046E-06	0,033830822
Espaços Verdes Urbanos	1025	0,00693825	0,02322113	2,20537E-06	0,329010189
Florestas	466	0,00582884	0,012684918	5,96046E-06	0,102704585
Zonas Descobertas ou com vegetação Esparsa	282	0,01327194	0,020051886	3,15905E-05	0,127906799
Águas Marinhas e Costeiras	3	0,01992919	0,002167256	0,017639101	0,022838354
Zonas Húmidas	23	0,01714119	0,011783218	9,7394E-05	0,035414338
Áreas Agrícolas Heterogéneas	376	0,00648729	0,016360707	1,43647E-05	0,145149708

4.2. Classification Stability (Março)

Classes	Objectos	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	522	0,154585748	0,286107125	8,29E-06	1
Redes Viárias e Ferrovias e Espaços Associados	567	0,003704102	0,004181937	3,04E-06	0,040064275
Tecido Urbano Contínuo	610	0,005574066	0,024377246	3,64E-06	0,591405332
Tecido Urbano Descontínuo	877	0,003117756	0,005002533	1,13E-06	0,065214753
Águas Marinhas e Costeiras	4	0,018500745	0,002486925	0,015620112	0,022324383
Áreas Agrícolas Heterogéneas	344	0,009051496	0,025152707	1,45E-05	0,229014516
Florestas	464	0,006609874	0,01582307	6,68E-06	0,188629568
Espaços Verdes Urbanos	1200	0,007103723	0,010023333	8,82E-06	0,103004754
Zonas Húmidas	10	0,008364737	0,013289396	1,16E-05	0,038549244
Zonas Descobertas ou com Vegetação Esparsa	357	0,011971215	0,013933125	1,95E-05	0,071619391

4.3. Classification Stability (Julho)

Classes	Objectos	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Indústria Comércio Equipamentos Gerais	609	0,236947339	0,378921563	1,85E-05	1
Rede Viária e Espaços Associados	572	0,004125858	0,008945118	2,32E-06	0,132475257
Tecido Urbano Contínuo	635	0,00437504	0,006010542	1,01E-06	0,074247539
Tecido Urbano Descontínuo	858	0,002176248	0,002566999	6,26E-06	0,036363244
Águas Marinhas e Costeiras	4	0,025204182	0,008187977	0,0167467	0,035789669
Áreas Agrícolas Heterogêneas	294	0,006047172	0,010105028	5,42E-06	0,067447901
Florestas	645	0,047649711	0,172821896	2,55E-05	1
Espaços Verdes Urbanos	919	0,021922406	0,05703464	1,19E-07	0,498934269
Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	405	0,01437413	0,018788317	1,42E-05	0,117530525
Zonas Húmidas	13	0,013101651	0,006045307	0,004655361	0,023133516

4.4. Classification Stability (Outubro)

Classes	Objectos	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Tecido Urbano Contínuo	638	0,035498518	0,125350673	3,58E-07	0,952691972
Tecido Urbano Descontínuo	886	0,008677389	0,044464259	6,68E-06	0,748829663
Indústria Comércio e Equipamentos Gerais	649	0,071796723	0,17729064	6,97E-06	1
Rede Viária e Espaços Associados	807	0,0063961	0,008493001	4,53E-06	0,055344701
Águas Marinhas e Costeiras	10	0,068310112	0,056960794	0,000943422	0,166989803
Áreas Agrícolas Heterogêneas	379	0,009193724	0,014036356	5,72E-06	0,136636138
Florestas	487	0,068021152	0,080124543	1,45E-05	0,452086687
Espaços Verdes Urbanos	891	0,025054211	0,059933062	1,78E-05	0,49650687
Zonas Descobertas com Vegetação Esparsa	200	0,013100509	0,016907148	3,17E-05	0,13633126
Zonas Húmidas	19	0,03774856	0,042328876	0,00108695	0,192269504

Anexo 5:

As especificações técnicas da COS1995v1.0, COS2007v2.0, COS2010v1.0 e COS2015v1.0 são exactamente iguais, com excepção da nomenclatura. As nomenclaturas da COS para 2007 e 2010 são iguais, mas as da COS para 1995 e 2015 são diferentes entre si e diferentes da nomenclatura de 2007 e 2010. No entanto, todas as nomenclaturas são comparáveis. A COS1990 difere das anteriores porque tem uma nomenclatura não hierárquica e uma distância mínima entre linhas de 40 m e não de 20 m como as outras. (DGT, 2018b:1)

5.1. Especificações Técnicas da COS2015

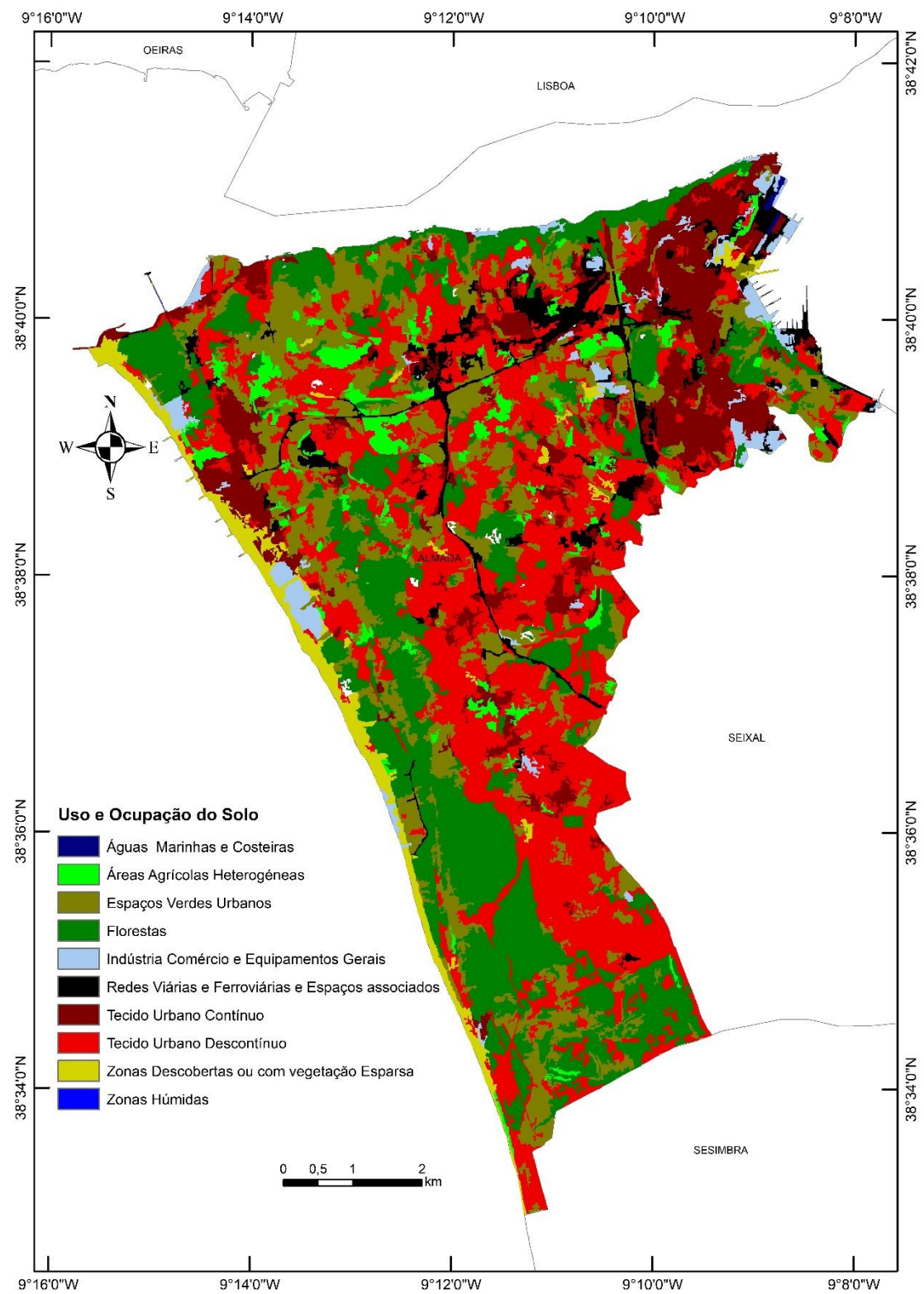
Tipo de Nomenclatura	Nomenclatura Hierárquica com cinco níveis de detalhe
Modelo de Dados	Vectorial
Unidade Mínima Cartográfica	1ha
Distância Mínima entre Linhas	20 m
Distância Mínima entre Polígonos	20 m
Sistema de Referência	ETRS89/PT-TM06
Nomenclatura (COS2007 e COS2010)	225 Classes
Nomenclatura (COS1995)	89 Classes
Megaclases	48 Classes no 5º nível
Exactidão Temática	≥85%
Exactidão Posicional	Melhor ou igual a 5,5 m
Referência de Delimitação Administrativa	CAOP
Dados de Base	Imagens Ortoorrectificada de 1995, 2007, e 2010
Elipsoide de Referência	GRS80
Projecção Cartográfica	Transversa de Mercator
Latitude da origem das coordenadas rectangulares	ϕ_0 : 39° 40' 05'', 73 N
Longitude da origem das coordenadas rectangulares	λ_0 : 8° 07' 59'', 19 W
Falsa Origem das Coordenadas Rectangulares	$\Delta x = 0$ m
	$\Delta y = 0$ m
Factor de Escala no meridiano central	K = 1
Referência de Delimitação Administrativa	Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), versão 2010 (COS2010v1) e Versão 2015 (COS2015v1.0)
Dados de Base	Imagens aéreas ortorectificada de 1995, 2007, 2010 e 2015

5.2. Exactidão Temática Global por nível de detalhe

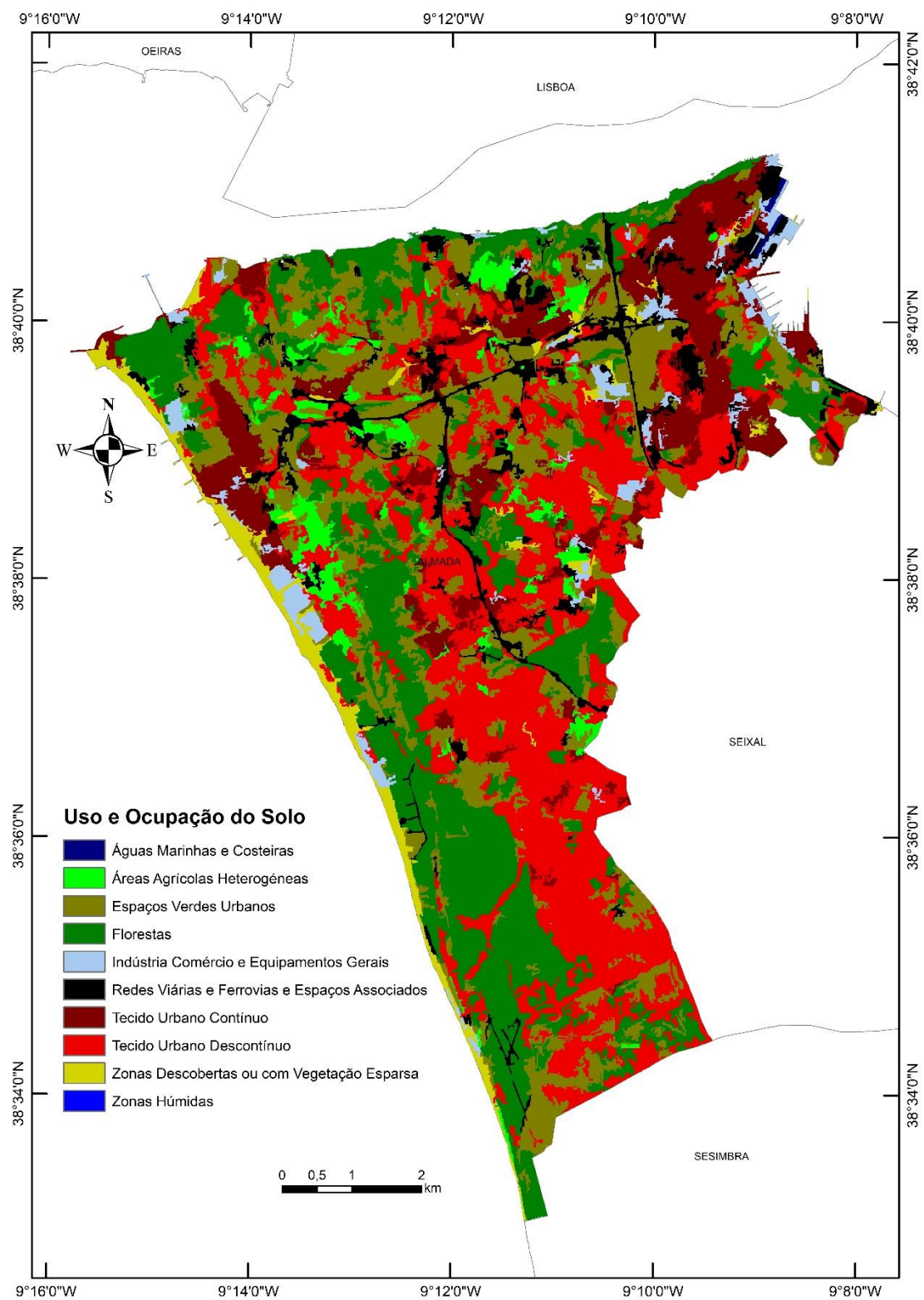
Nível de detalhe da Nomenclatura	COS1995v1.0	COS2007v2.0	COS2010v1.0	COS2015v1.0
Nível 1	95	97	97	96
Nível 2	86	92	91	90
Nível 3	83	87	86	88
Nível 4	81	83	81	88
Nível 5	79	79	76	83

Anexo 6:

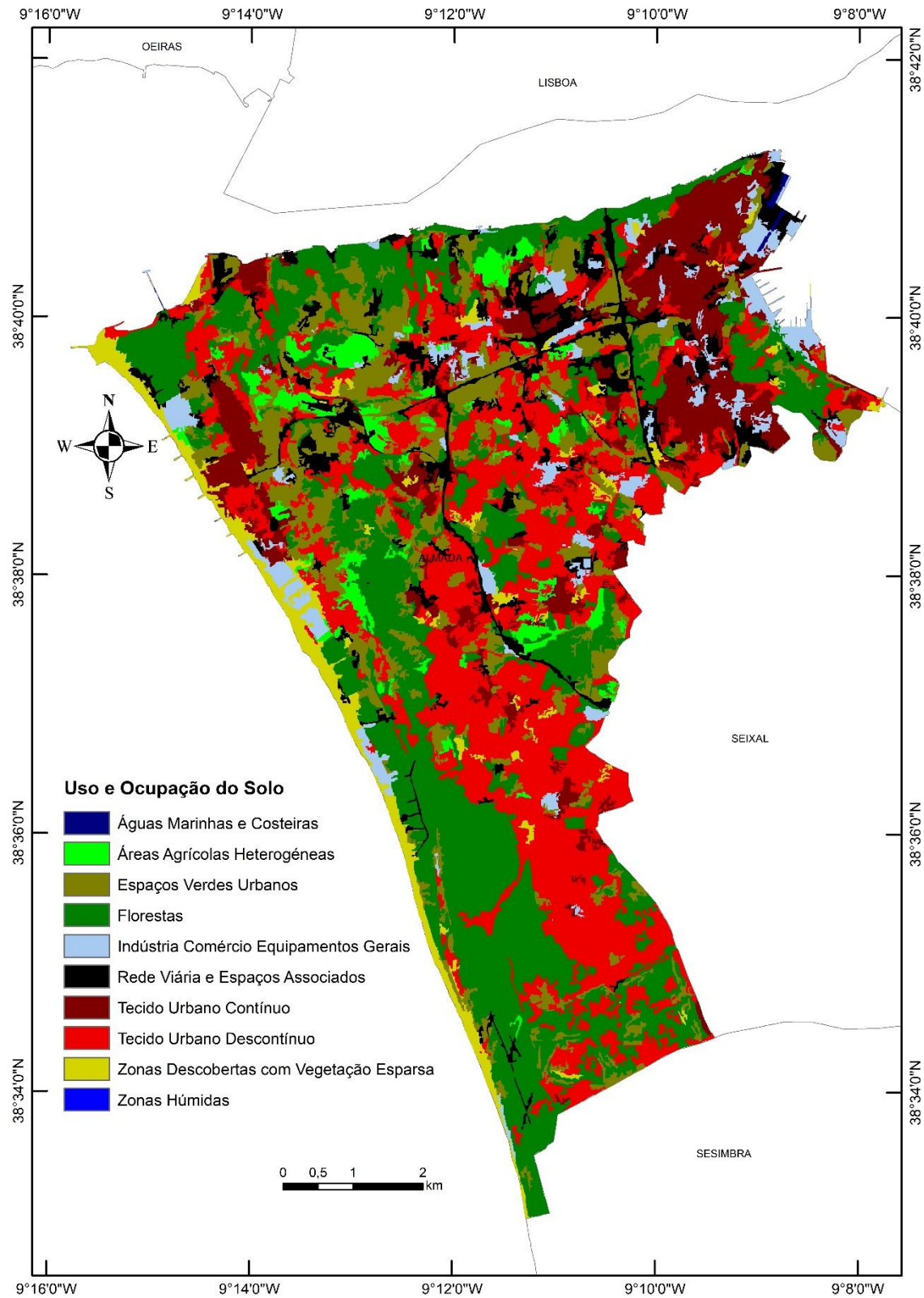
6.1. a) Janeiro. Classificação Final



6.2. b) Março. Classificação Final



6.3. c) Julho. Classificação Final



6.4. d) Outubro. Classificação Final

